OMIKK
ETE
MW
E 2039
R 1988 JUN 23
Referálva

1

35 ANI DE APARITIE

Cuprins

OPINII ALE SPECIALIŞTILOR 4

LUCIA ROŞCA : **Probleme actuale ale energeticii româneşti** 8

SURSE ŞI TEHNOLOGII NOI

JULIETA FLOREA, VASILE NITU : **Energiile regenerabile. Situaţia actuală şi tendinţe de viitor** 12

CENTRALE TERMOELECTRICE

MIRCEA CÂRDU : **Dezvoltarea fabricaţiei de turbine cu abur pentru recuperarea resurselor energetice refolosibile din industrie** 18

CENTRALE NUCLEAROELECTRICE ; REŢELE ELECTRICE

PAUL EMIL RAŞCU : **Unele probleme energetice principale ale construcţiei centralelor nuclearoelectrice. Schemele electrice de înaltă tensiune utilizate. Situaţia pe plan mondial** 22

ORIENTĂRI IN ENERGETICĂ

VASILE NITU : **Conceptualizarea fiabilizării şi disponibilităţii, cu aplicare în energetică** 33

ISTORICUL ELECTRIFICĂRII

PAUL CARTIANU : **Oameni şi evenimente în cei 35 de ani** 39

NOUTĂŢI

DIN ENERGETICA MONDIALĂ 21, 32, 38

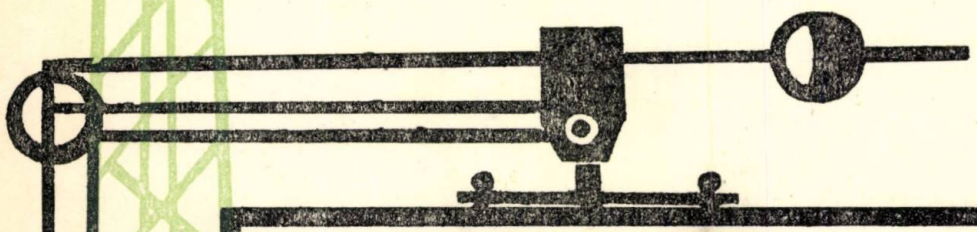
VOLUMUL XXXVI
BUCUREŞTI
IANUARIE 1988

energetica

MINISTERUL ENERGIEI ELECTRICE
INSTITUTUL DE STUDII SI PROIECTĂRI ENERGETICE
ROMANIA, 72301 Bucureşti, sector 2, Bdul Lacul Tei nr. 1
Telegrame : ISPE-Bucureşti, telex : 10978 ispe r, telefon : 107080

The Institute for Power Studies and Designs, the specialized body of the Ministry of Electric Energy, carries out studies and designs required for the "development and for the economic and safety operation of the national power system

It co-operates with foreign companies and organizations for specialized works and gives, on demand, all kind of engineering assistance in the power field and :



. draws up technical and final designs for thermal power plants, combined heat and power plants and thermal plants, substations and transformer posts, transmission electric lines

. carries out studies concerning power development and feasibility studies for power projects

. draws up current and long-term electrification plans for countries, regions and towns

. designs heat networks for urban and industrial purposes

. elaborates studies for establishing the power regime and safety operation

. elaborates methodologies and programmes concerning the planning and operation of the power system

. grants technical assistance in the field of analysis and programming.

ENERGETICA

ORGAN AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE ŞI AL CONSILIULUI NAŢIONAL AL INGINERILOR ŞI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

SUB ÎNDRUMAREA CONSILIULUI ŞTIINŢIFIC AL INSTITUTULUI CENTRAL DE CERCETĂRI ENERGETICE

Anul 36 Nr. 1 Ianuarie 1988

CENTRUL DE DOCUMENTARE ŞI INFORMARE TEHNICĂ

În decursul existenţei sale de peste o treime de secol, revista „Energetica" şi-a împletit existenţa cu dezvoltarea electrificării în ţara noastră. În paginile sale au fost reflectate problemele, căutările şi soluţiile fiecăreia din etapele drumului parcurs în aceşti ani, în care a fost creat Sistemul Electroenergetic Naţional, în care puterea unitară a generatoarelor electrice a crescut de la 20 la peste 300 MW în centralele termoelectrice şi de la 3 la 175 MW în centralele hidroelectrice, în care tensiunea în liniile de transport a crescut de la 110 la 750 kV, iar consumul anual de energie electrică pe cap de locuitor — de la 135 la peste 3300 kWh. Au fost ani în care s-au pus tot mai acut probleme ca cele ale regimurilor de funcţionare a sistemului, ale reducerii consumurilor specifice de combustibil, ale creşterii siguranţei în funcţionare a echipamentelor şi instalaţiilor energetice, ale consumului raţional şi eficient al energiei electrice şi termice în economie.

Succesiv, revista a reflectat preocupările pentru introducerea şi extinderea termoficării, pentru utilizarea combustibililor inferiori şi economisirea hidrocarburilor; pentru valorificarea potenţialului hidroenergetic, a surselor noi şi refolosibile de energie pentru o balanţă energetică echilibrată; pentru treptele calitativ noi ale introducerii informaticii în energetică; pentru noile exigenţe ale eficienţei economice, ale proceselor de producţie, transport, distribuţie şi utilizare a energiei electrice şi termice, a tuturor formelor de energie; pentru protejarea mediului înconjurător.

Sub multiple aspecte, revista dezbate şi are misiunea să clarifice cît mai aprofundat întreaga varietate de probleme tehnice a căror soluţionare trebuie să ne conducă la o funcţionare normală, cu grad ridicat de disponibilitate, a marilor centrale electrice funcţionînd pe bază de lignit.

Problematica realizării centralelor nuclearoelectrice — obiectiv prioritar al perspectivei noastre energetice imediate — urmează să-şi găsească de asemenea un loc important în paginile revistei.

Prin întreaga sa activitate, revista „Energetica" trebuie să contribuie la promovarea în sectorul energetic a unui climat de profesionalitate, de răspundere şi de exigenţă tehnică; să sprijine formarea şi perfecţionarea personalului de specialitate din ramură în spiritul şi la nivelul tehnicii actuale şi viitoare; să facă posibil un cît mai larg schimb de idei, de iniţiative, de experienţă, pentru a mobiliza pe toţi energeticienii în vederea îndeplinirii sarcinilor ce ne stau în faţă pentru realizarea programului energetic stabilit de Partidul Comunist Român.

Valeriu Popa
Adjunct al ministrului energiei electrice

Energetica
1-2
ENERGETICA
4
ENERGETICA
ORGAN AL ASOCIAȚIEI ȘTIINȚIFICE A INGINERILOR ȘI TEHNICIENILOR DIN R.P.R.
ȘI AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE ȘI INDUSTRIEI ELECTROTEHNICE
ENERGETICA
3
1953
10
Energetica

CUVÎNT ÎNAINTE

Se împlinesc în această lună 35 de ani de la apariţia revistei ENERGETICA, prilej de meditaţii şi retrospectivă pentru toţi energeticienii din România, mai ales că pentru mulţi dintre ei viaţa revistei se suprapune peste perioada de activitate proprie în domeniul energetic.

De la început, revista şi-a propus să contribuie la formarea unei concepţii energetice juste pentru rezolvarea în cele mai bune condiţii a problemelor energetice specifice ţării noastre. Avînd o sferă tematică foarte largă, revista a căutat, pe cît a fost posibil, să acopere necesarul de cunoştinţe şi informaţii destinat acestui scop. Cele peste 20 000 pagini ale revistei de la apariţie pînă în prezent reprezintă un bun materîal în care se concretizează idei valoroase, noutăţi şi care în acelaşi timp pot fi privite ca o cronică a realizărilor din etapele caracteristice ale energeticii româneşti. Bineînţeles, acest tezaur nu ar fi putut fi realizat fără contribuţia efectivă a colaboratorilor şi lucrătorilor care au susţinut revista şi care s-au străduit să-i menţină un nivel tehnic şi ştiinţific cît mai înalt.

Organ al Ministerului Energiei Electrice şi al Consiliului Naţional al Inginerilor şi Tehnicienilor din Republica Socialistă România, revista a mers în pas cu cele mai actuale probleme ale energeticii noastre, reflectînd atît succesele, cît şi dificultăţile cu care ne confruntăm.

Desigur, prin natura lucrurilor tematica revistei trebuie să se încadreze în activitatea generală de pregătire a viitorului. Revista trebuie să trateze probleme care să asigure o dezvoltare corespunzătoare a energeticii noastre. În ce măsură s-a reuşit pînă în prezent în această direcţie rămîne de văzut. În orice caz, în stadiul actual al energeticii noastre, preocupările specialiştilor noştri, şi pentru aceasta paginile revistei vor fi deschise totdeauna, trebuie să se menţină pe frontul cercetărilor şi studiilor care să conducă nemijlocit la progresul acestui sector şi la depăşirea actualelor dificultăţi.

La încheierea celor 35 de ani de existenţă a revistei Energetica exprimăm, şi pe această cale, aprecieri şi mulţumiri tuturor colaboratorilor, în primul rînd autorilor de articole, membrilor Colegiului de redacţie, personalului din redacţie, Oficiului de Informare şi Documentare pentru Energetică.

De asemenea, exprimăm mulţumiri conducerii Institutului Central de Cercetări Energetice, conducerii Ministerului Energiei Electrice, precum şi conducerii Consiliului Naţional al Inginerilor şi Tehnicienilor pentru îndrumarea şi sprijinul acordat revistei pe tot parcursul vieţii ei.

Redacţia revistei îşi ia angajamentul şi asigură forurile conducătoare şi pe cititorii revistei că va face tot ce este posibil pentru ca tematica acesteia să cuprindă permanent cele mai stringente probleme ale sectorului energetic, contribuind în acest fel la dezvoltarea corespunzătoare a economiei româneşti.

Din partea redacţiei
Dr. ing. Eugeniu Pavel

Opinii ale specialiștilor

Institutul Politehnic Iași

De la apariția primului număr al revistei ENERGETICA, acum 35 de ani, generații după generații, cîteva mii de ingineri, specialiști în diverse domenii ale energeticii în cadrul Institutului Politehnic Iași, s-au integrat în activitatea de proiectare, construcție sau exploatare a diferitelor elemente ale sistemului energetic național.

În procesul de formare a cadrelor de specialiști, în general, este necesar ca învățămîntul, în primul rînd, să țină pasul cu cele mai noi descoperiri și realizări ale științei și tehnicii, atît pe plan național, cît și la nivel mondial.

Evident, în acest context, revistele de specialitate au un rol deosebit ca mijloc de informare, iar atunci cînd se constituie, ca revista ENERGETICA, într-o tribună de dezbatere a celor mai stringente probleme legate de electrificarea țării, de realizarea și dezvoltarea sistemului energetic național, ele devin mijloace de formare a specialiștilor.

Numeroase cadre didactice ale institutului nostru, sînt prezente cu lucrări de specialitate în revista ENERGETICA încă din primul ei an de apariție. Un număr întreg din revistă a fost consacrat lucrărilor sesiunii științifice cu tema „Optimizarea în dezvoltarea și exploatarea instalațiilor electroenergetice" organizată la Iași de secția de energetică a Facultății de Electrotehnică în colaborare cu institutele de cercetări și proiectări centrale și întreprinderile de profil ale M.E.E.

Recent, secția de energetică a Facultății de Electrotehnică a institutului nostru a găzduit și „Masa rotundă", organizată de redacția revistei ENERGETICA, care a avut drept temă raționalizarea consumului de materiale neferoase în contextul imperativului reducerii pierderilor de energie în instalațiile sistemului nostru energetic („Determinarea secțiunii economice a conductoarelor la liniile de distribuție de 1—110 kV").

În același cadru, a avut loc o întîlnire a redacției revistei cu cititorii din Institutul Politehnic. Cu această ocazie s-a realizat un util schimb de păreri privind conținutul și structura revistei, efectuîndu-se, totodată, un schimb de experiență cu redacția Buletinului Institutului Politehnic din Iași.

S-a reliefat cu această ocazie aportul revistei ENERGETICA în informare, nivelul științific ridicat al articolelor publicate, gama largă a problematicii din domeniul energetic pe care o abordează.

Cadrele didactice găsesc în paginile ei informații concrete legate de realizările și proiectele de dezvoltare în continuare a sistemului nostru energetic, informații prețioase pentru îmbogățirea cursurilor cu realizările realității noastre socialiste din ultimele decenii.

De asemenea, prezintă interes semnalarea în revistă a diferitelor apariții editoriale naționale sau străine din domeniul energeticii, prezentarea celor mai interesante realizări (centrale electrice, linii de transport etc.) de pe glob, aspecte din istoricul dezvoltării energeticii românești și mondiale, evocarea unor figuri de savanți, ingineri și dascăli, ce au contribuit la formarea cadrelor și la dezvoltarea energeticii românești, printre care figurează și cei din Institutul Politehnic Iași.

Animați de același entuziasm pentru dezvoltarea bazei energetice a țării, pentru buna funcționare a sistemului energetic național, cadrele didactice de specialitate din Institutul Politehnic Iași, subliniind încă o dată ținuta științifică și aportul deosebit în procesul de informare și formare a noilor generații de specialiști în domeniul energeticii, felicită pe cei ce contribuie la apariția revistei ENERGETICA și le urează noi succese.

Prof. dr. Cameluța Beldie
Rectorul Institutului Politehnic Iași

Institutul Politehnic „Traian Vuia" Timișoara

În ianuarie 1988 se împlinesc 35 de ani de la apariția primului număr al revistei ENERGETICA. Aniversarea marchează o activitate redacțională deosebită, legată de transformările fără precedent pe care le-a cunoscut economia și viața socială din țara noastră în general și sectorul energetic în particular. În această perioadă, sub permanenta îndrumare a Partidului Comunist Român, energetica s-a dezvoltat puternic, pe baza unor planuri de perspectivă științific fundamentate, ce au condus la formarea și dezvoltarea unui puternic sistem energetic național, capabil să asigure aprovizionarea cu energie a economiei noastre în plină ascensiune.

Programele naționale energetice de perspectivă adoptate de conducerea de partid și de stat pentru perioada 1981 — 1990 și orientările date de tovarășul Nicolae Ceaușescu, secretar general al partidului, președintele țării, pentru perioada pînă în anul 2000, au în vedere necesitatea ca la finele acestui deceniu România să devină independentă din punct de vedere energetic.

Aceste cerințe implică sarcini deosebite atît pentru economia națională în ansamblu, cît și pentru sectorul energetic. Sub acest aspect se așteaptă ca modernizarea structurii și accentuarea

măsurilor de economisire a energiei în toate sectoarele de activitate să asigure obținerea unui venit național pe unitatea de energie consumată la un nivel comparabil cu realizările din țările cele mai industrializate.

Dezvoltarea bazei energetice în continuare pune accentul pe valorificarea potențialului hidroenergetic, creșterea extracției de cărbune, realizarea unui program de construcții de centrale nucleroelectrice și utilizarea intensivă a formelor inepuizabile de energie solară, eoliană, geotermală, biogaz.

În contextul celor de mai sus, revista ENERGETICA a reprezentat o tribună de dezbatere a celor mai importante probleme pe care le-a trasat energetica noastră, contribuind la formarea unei concepții moderne, ce a condus la soluționarea optimă a problemelor energiei în condițiile specifice țării noastre și la formarea unor specialiști valoroși.

Astfel, tematica abordată s-a referit la întreg sistemul energetic cu problemele specifice fiecărui subsistem : hidroenergetic, termoenergetic, electroenergetic, nuclearoenergetic, cuprinzînd atît probleme de proiectare și concepție, cît și de exploatare. În ceea ce privește abordarea și tratarea problemelor, aceasta s-a făcut la nivel științific ridicat, asigurîndu-se astfel publicației o ținută științifică elevată. Se remarcă diversitatea problemelor abordate (surse și resurse în energetică, tehnologii de transport al energiei, utilizarea de energii regenerabile, arderea combustibililor inferiori, optimizarea funcționării centralelor termoelectrice concepția și proiectarea unor agregate din centralele nucleare, proiectarea și calculul rețelelor electrice de transport și distribuție, tehnica tensiunilor înalte, conducerea și optimizarea sistemelor electroenergetice, alimentarea cu energie a consumatorilor industriali și urbani etc.), actualitatea acestora (creșterea economicității și disponibilității centralelor funcționînd pe cărbuni inferiori, elaborarea unor programe de dimensionare și exploatare a CNE, folosirea complexă și economică a resurselor de apă, creșterea aportului energiilor regenerabile în balanța energetică a țării prin soluții tehnice de valorificare a energiei solare, eoliene, geotermale, biogaz, realizarea de echipamente și aparate de înaltă performanță pentru elementele sistemului, încadrarea optimă a instalațiilor energetice în mediul înconjurător etc.), cît și complexitatea lor (automatizarea complexă și trecerea pe calculator a principalelor funcții din centralele termoelectrice, perfecționarea metodelor de calcul al siguranței în funcționarea elementelor de sistem, folosirea metodelor numerice cu elemente finite la analiza fenomenelor termice, optimizarea metodelor de calcul al pierderilor de putere și energie în rețelele electrice, analiza stabilității sistemului electroenergetic, telegestiunea rețelelor de transport și distribuție, conducerea în timp real a sistemului etc.).

În cadrul Institutului Politehnic „Traian Vuia" din Timișoara există preocupări susținute privind traducerea în viață a politicii energetice promovate de conducerea de partid și de stat, concretizate prin abordarea unor direcții de cercetare prioritare ce vizează sectorul energetic, și anume : utilizarea surselor neconvenționale de energie și optimizarea funcționării instalațiilor sistemului energetic în toate etapele pe care le parcurge energia : producere, transport, distribuție și consum.

Dintre preocupările noastre în domeniul utilizării surselor neconvenționale de energie, le-aș aminti, în primul rînd, pe cele legate de folosirea energiei eoliene și solare. Dispunem de agregatul Aerolim-1 de 30 kW, cu ajutorul căruia efectuăm studii pentru punerea în funcțiune a unor agregate de 300 și 700 kW. În institutul nostru avem o bază unică în țară în care studiem posibilitățile stocării de lungă durată a căldurii în piatră, apă, pămînt și am realizat proiectele unei clădiri bioclimatice, care utilizează în proporție de 50—60% energie solară. Se află, de asemenea, în stadii avansate cercetările legate de utilizarea acestor energii în agricultură și în domeniul construcțiilor (climatizarea încăperilor, prepararea apei calde).

Referitor la optimizarea funcționării instalațiilor sistemului energetic menționăm preocuparea permanentă a specialiștilor noștri privind elaborarea de bilanțuri energetice în toate sectoarele de activitate, mijloc eficient de identificare a posibilităților de reducere a consumurilor de energie și de creștere a randamentelor instalațiilor și aparatelor. Putem aprecia că aproape toate marile întreprinderi industriale din orașele Timișoara, Arad, Reșița, Hunedoara au beneficiat în această direcție de sprijinul nostru.

Pe de altă parte, specialiștii noștri se preocupă de perfecționarea metodelor de analiză specifice fenomenelor energetice și în particular celor electroenergetice, concretizată prin utilizarea unor tehnici numerice moderne și a calculatoarelor electronice. S-au elaborat, de exemplu, programe complexe ce permit analiza regimurilor de funcționare a sistemului electroenergetic cu considerarea reglajelor generatoarelor sincrone și a caracteristicilor de sarcină ale consumatorilor. Alte cercetări sînt orientate spre economisirea energiei în procesele de distribuție și consum ale energiei electrice. S-au întocmit metodologii de estimare a efectelor aplicării diferitelor metode de reducere a consumurilor proprii tehnologice (compensarea puterii reactive, simetrizarea sarcinii, limitarea regimului deformant, asigurarea funcționării optime a transformatoarelor, optimizarea acționărilor cu motoare asincrone etc.) și proiectarea și realizarea unor instalații capabile să asigure mersul economic al unor mari consumatori de energie (limitatoare de mers în gol, dispozitive de reglare automată a gradului de compensare a puterii reactive, insta-

lații de comandă a acționărilor cu motoare asincrone etc.).

În paralel cu această activitate și activitatea didactică de formare a specialiștilor energeticieni este marcată de marile transformări și succese reputate de economia noastră, de sarcinile măreție care stau în fața energeticii românești. În acest sens articolele și notele inserate în paginile revistei ENERGETICA ne sînt de un real folos, atît în activitatea de informare și documentare a studenților noștri, cît și de educație patriotică, revoluționară, pentru a deveni specialiști energeticieni de nădejde ai patriei noastre socialiste.

În încheiere felicităm, cu toată căldura, harnicul și valorosul colectiv de redacție, precum și pe toți aceia care, prin activitatea lor, au contribuit la apariția revistei ENERGETICA, urîndu-le în continuare succese depline spre binele și dezvoltarea continuă a cercetării științifice energetice, a întregii vieți social-economice în patria noastră.

Prof. dr. ing. Coleta De Sabata

Rectorul Institutului Politehnic „Traian Vuia" Timișoara

IRE Deva

În cei 35 de ani de existență revista ENERGETICA s-a constituit ca o adevărată tribună a preocupărilor și ideilor specialiștilor din ramura energiei electrice și din toate ramurile industriale ale economiei naționale. Îmbunătățindu-și an de an conținutul, revista a reflectat în paginile sale problemele ce frămîntă pe toți cei ce se preocupă de zestrea energetică a țării.

Pentru colectivul de oameni ai muncii de la IRE Deva, care an de an a cuprins un număr apreciabil de cititori ai revistei, paginile sale au constituit un mijloc eficace de îmbogățire a cunoștințelor de specialitate, un sprijin în activitatea curentă și o sursă competentă de informare.

Pentru noi un interes deosebit îl prezintă rubrica „Rețele electrice", în care specialiști ai energeticii românești din institutele de învățămînt superior, cercetare, proiectare, exploatare și construcții-montaj au dezbătut cele mai stringente probleme ale perioadei respective.

De un real folos ne-au fost articolele privind consumul propriu tehnologic în rețelele electrice, care au reflectat multiple aspecte și implicații ale acestuia.

Au fost apreciate articolele apărute în paginile revistei cu privire la poluarea instalațiilor și măsurile stabilite pentru evitarea efectelor poluării.

Am apreciat, de asemenea, promptitudinea cu care revista a inserat printre preocupările sale probleme foarte actuale legate de sursele noi și mijloacele de utilizare a unor resurse energetice neconvenționale (de exemplu în numărul 2/1987 și altele).

Suprapunîndu-se unor preocupări ale colectivului nostru, articolul „Calculul curentului de scurtcircuit monofazat prin rezistență de trecere foarte mare, în rețelele de medie tensiune cu nulul tratat prin rezistor", autori ing. Vladimir Hristea și ing. Dumitru Toader, apărut în numărul 5/86 ne-a fost de un real folos în rezolvarea unor probleme legate de tratarea neutrului rețelelor de medie tensiune prin rezistență. În același sens putem aminti și articolele din numerele 3/86 sau 11/86, care tratează aspecte privind influența regimurilor nesimetrice în rețelele trifazate.

Specialiștii care la IRE Deva se preocupă de proiectarea și exploatarea CHEMP (MHC) au prețuit în mod deosebit articolele referitoare la producția de energie electrică prin aceste instalații. Ele au constituit un ghid în eforturile de utilizare intensivă a microhidropotențialului energetic al rîurilor din județul Hunedoara.

Activitatea PRAM, care este proprie unității noastre, a beneficiat, de asemenea, de experiența sau informațiile pe care specialiștii în acest domeniu le-au făcut cunoscute în paginile revistei. Astfel, temele elaborate, cum sînt metodele de calcul al curenților de scurtcircuit în diferite regimuri de funcționare sau aprecieri privind evoluția și comportarea unor aparate de protecție și automatizare (relee RAR, relee de gaze, de distanță etc.) au fost de un real folos, specialiștii apreciindu-le ca deosebit de interesante și utile.

În ultima perioadă au devenit tot mai dese rubricile din „Buletinul informativ" referitoare la manifestările tehnico-științifice cu caracter energetic din țară și străinătate, la invenții și inovații, recenzii și cronici, precum și cele dedicate marilor personalități ale energeticii românești, rubrici care au adus un plus de actualitate revistei.

Față de cele de mai sus nu mai este necesar să subliniem, fiind evident, faptul că revista ENERGETICA a devenit o prezență tot mai apreciată de oamenii muncii — energeticieni ai IRE-Deva, fiind așteptată lună de lună cu interesul cu care este așteptat un mesager deținător de noutăți deosebite și utile. Gama variată a problemelor prezentate și faptul că din majoritatea acestora se desprind aspecte ce își găsesc aplicarea în activitatea noastră de proiectare, exploatare, distribuția energiei electrice, precum și grafica îngrijită, îndreptățesc aprecierea de care se bucură revista ENERGETICA în cadrul IRE Deva.

Pentru toate acestea, pentru noi realizări viitoare pentru sprijinul pe care îl acordă permanent promovării noului, urăm revistei ENERGETICA un sincer „La mulți ani!"

Ing. Ioan Hațegan

Director IRE Deva

IE Borzeşti

În cei 35 de ani de existenţă, revista energeticienilor români, ENERGETICA, s-a constituit, cu adevărat, într-o tribună a noutăţilor tehnice şi ştiinţifice în acest domeniu, a promovat cu consecvenţă ideile şi soluţiile de progres în energetica românească, a militat pentru continua modernizare a echipamentelor şi instalaţiilor de producere, transport şi distribuţie a energiei.

În paginile revistei ENERGETICA s-au abordat atît subiecte de studii, analiză şi cercetare cu caracter fundamental, cît şi subiecte ce au reflectat realitatea practică, cu problematica ei concretă. Modul în care au fost tratate aceste subiecte a demonstrat o înaltă ţinută atît a fondului, cît şi a formei de prezentare a materialelor publicate, ceea ce face ca revista ENERGETICA să se situeze la nivelul publicaţiilor de acest gen, de prestigiu pe plan mondial.

Vrem să subliniem că revista a reuşit să se alinieze la deziderатul major, care constă în tratarea cu prioritate a acelor probleme care privesc direct producţia, necesitatea stringentă de modernizare a procesului de producţie.

Pentru specialiştii noştri revista a fost un instrument valoros, în paginile ei găsind soluţii la multe situaţii deosebite cu care ne-am confruntat în exploatarea, întreţinerea şi repararea agregatelor şi instalaţiilor din dotarea unităţii noastre.

În acest sens putem exemplifica articolele referitoare la exploatarea judicioasă a instalaţiilor de termoficare, funcţionarea în condiţii de siguranţă sporită a staţiilor electrice de conexiuni, repararea cazanelor PK-47-3 ale grupurilor de 210 MW, exploatarea şi întreţinerea cazanelor în condiţiile arderii păcurii vîscoase, economisirea combustibilului şi a energiei, precum şi articolele ce au tratat problemele multiple şi complexe ale gospodăriilor de cărbune şi ale arderii cărbunelui în cazanele de provenienţă românească.

Am avut şi satisfacţia de a fi contribuit efectiv la apariţia revistei, specialiştii din unitatea noastră fiind semnatarii unor articole publicate, din care menţionăm o contribuţie privind analiza comparată a turnurilor de răcire şi un material monografic legat de a 25-a aniversare a punerii în funcţiune a primului grup energetic de 25 MW din CET 1 Borzeşti.

Pentru ajutorul primit în munca noastră, noi sîntem recunoscători revistei ENERGETICA, căreia, cu ocazia acestui moment aniversar, îi adresăm calde felicitări şi urarea de apariţie vreme îndelungată spre binele şi progresul energeticii în România.

Ing. Ioan Rusu

Director al Întreprinderii Electrocentrale Borzeşti

IE Porţile de Fier

Vocaţia de progres şi civilizaţie a României, vocaţia constructivă paşnică a poporului s-a manifestat cu putere în ultimele patru decenii, îndeosebi în perioada care a trecut de la istoricul Congres al IX-lea al partidului, de cînd la cîrma destinelor naţiunii, ale ţării, se află tovarăşul Nicolae Ceauşescu.

După cum se ştie, una dintre opţiunile politice fundamentale ale strategiei partidului nostru de dezvoltare economico-socială a ţării, promovată cu consecvenţă de peste două decenii, o reprezintă dezvoltarea bazei energetice şi asigurarea independenţei României în acest domeniu.

În perioada de după Congresul al IX-lea, această opţiune s-a materializat prin construirea şi punerea în funcţiune a unor noi şi mari obiective energetice, printre care se numără şi SHEN Porţile de Fier I şi II. Prin construirea acestor sisteme s-a realizat, pe de o parte, valorificarea unui potenţial hidroenergetic de peste 6 miliarde kWh pe an, iar, pe de altă parte, s-a transformat sectorul Porţile de Fier dintr-un sector deosebit de dificil pentru navigaţie într-un sector favorabil, asigurînd creşterea capacităţii de transport de la 15 mil. tone registru brut pt an la circa 50 mil. tone pe an.

Execuţia SHEN Porţile de Fier I a început la 7 septembrie 1964, desfăşurîndu-se pe o perioadă de 7 ani, ultima capacitate fiind pusă în funcţiune în noiembrie 1971.

Inaugurarea acestui mare obiectiv energetic a avut loc la 16 mai 1972 în prezenţa secretarului general al partidului, preşedintele republicii, tovarăşul Nicolae Ceauşescu, şi a tovarăşului Iosip Broz Tito, preşedintele R.S.F. Iugoslavia. În discursul ţinut cu această ocazie cei doi preşedinţi au felicitat cu căldură şi au adus elogii tuturor colectivelor de muncă, care au contribuit la această mare realizare de prestigiu internaţional, simbol al prieteniei dintre cele două popoare vecine şi prietene.

Energeticienii de la Porţile de Fier, apreciază rolul însemnat pe care revista ENERGETICA l-a avut în soluţionarea unor probleme deosebite cu care ne-am confruntat, precum şi în popularizarea unor rezultate valoroase obţinute de colectivul nostru în activitatea de exploatare. Totodată, dorim ca în viitor să întărim colaborarea noastră şi să crească aportul revistei ENERGETICA în ceea ce priveşte popularizarea noilor cuceriri ştiinţifice interne şi internaţionale în domeniul realizării şi exploatării centralelor hidroelectrice.

Acum, cînd revista energeticienilor români, ENERGETICA, împlineşte 35 de ani de apariţie, ca vechi colaboratori şi cititori vă mulţumim pentru sprijinul acordat, vă felicităm sincer pentru rezultatele obţinute în activitatea de popularizare a tot ce este nou şi modern pe tărîmul ştiinţei şi progresului în domeniul energetic şi vă urăm noi şi importante succese în activitatea viitoare.

Ing. Pătru Păun

Director I.E. Porţile de Fier

Probleme actuale ale energeticii românești

Ing. Lucia Roșca *

Problematica energetică a constituit și constituie o preocupare centrală în ansamblul politicii Partidului Comunist Român de înfăptuire a unei dezvoltări economico-sociale intensive, bazate pe progres tehnic, înaltă eficiență economică, creștere continuă a calității vieții și a muncii, protejare a mediului înconjurător. De aceea, după cum se știe, în anii industrializării socialiste, mari resurse umane și materiale — și, să adăugăm, mari eforturi creatoare — au fost investite cu scopul edificării unei energetici românești puternice, avansate, pe măsura marilor obiective de dezvoltare și înflorire multilaterală a economiei și societății noastre.

Fără a abuza de cifre, se cuvine totuși să arătăm că pentru investițiile necesare dezvoltării energetice (în industria combustibilului și în cea a energiei electrice și termice) economia națională a alocat un procent important din totalul investițiilor: de exemplu, 15,5% în perioada 1966—1970, mergînd pînă la 19,0% în ultimul cincinal încheiat, 1981—1985. Ca urmare, dispunem ** de o putere instalată în centralele electrice de peste 20,8 GW. În privința consumului total intern de energie în economie, de aproape 100 mil. t c.c. (2930 pentajoule)*** în 1986, reprezentînd 4319 kg c.c./loc., ne situăm într-o plajă comparabilă cu Austria — 3955 kg c.c./loc. (115,9 GJ/loc.), Belgia — 4998 (146,4 GJ/loc.), Franța — 4013 (117,6 GJ/loc.), Marea Britanie — 4914 (144 GJ/loc.), Italia — 3290 (96,4 GJ/loc.) (datele pentru țările citate sînt din anul 1985), iar consumul total intern de energie electrică, de 79,9 TWh (287,6 PJ) în 1986, adică 3500 kWh/loc (12,6 GJ/loc.), este comparabil cu Iugoslavia — 3221 kWh/loc. (11,6 GJ/loc.), Polonia — 3646 (13,1 GJ/loc.), Ungaria — 3514 (12,6 GJ/loc.), dar: Franța—5545 (19,9 GJ/loc.), Bulgaria—5064 (18,2 GJ/loc), Austria—5626 (20,2 GJ/loc.) (datele pentru țările citate sînt din anul 1985).

Nivelul de tehnicitate atins de electroenergetica românească poate fi caracterizat, în primul rînd, prin existența Sistemului Electroenergetic Național, în care sînt interconectate sau racordate capacitățile de producție reprezentînd peste 97% din puterea instalată totală a generatoarelor electrice existente. Dispecerul Energetic Național este dotat cu instalații teleinformatice avansate pentru conducerea operativă a regimurilor sistemului în ansamblu și a principalelor instalații componente.

Cea mai mare parte a puterii instalate în centralele termoelectrice o reprezintă blocurile de mare putere — în condesație, de 100—330 MW; în centralele de termoficare, cea mai mare răspîndire o au blocurile de 50 MW. Instalațiile sînt caracterizate printr-un înalt grad de automatizare; se lucrează cu parametri ridicați ai aburului; complexitatea schemelor tehnologice ale centralelor și ale blocurilor a urmărit să corespundă unor înalte exigențe tehnice.

Hidroenergetica românească dispune azi de o mare diversitate de centrale hidroelectrice, adaptate valorificării optime a diferitelor cursuri de apă și bazine hidrografice. Sînt cunoscute marile realizări, sub aspectul tehnicității, complexității și dimensiunilor, de la Porțile de Fier I și II, Lotru — Ciunget și altele; a început introducerea unor grupuri bulb și bulb reversibile; sînt în funcțiune mari cascade de centrale hidroelectrice și continuă dezvoltarea altor cascade și amenajări complexe, precum și desfășurarea programului de microhidrocentrale.

În ceea ce privește rețelele electrice, este de menționat realizarea inelului de linii magistrale de înaltă tensiune și a altor linii de racordare a unor mari surse sau consumatori și de echilibrare între zone importante ale sistemului; introducerea, recentă, a tensiunii de 750 kV pentru una dintre conexiunile internaționale; dezvoltarea rețelei de distribuție de medie și joasă tensiune. Îmbunătățirea sistematizării ansamblului rețelelor electrice constituie un obiectiv primordial, căruia urmează să-i acordăm o atenție deosebită.

Consemnăm, ca o caracteristică definitorie a dezvoltării energetice românești, în concordanță cu tendințele progresului tehnic contemporan, ritmul, realizat, de creștere a producției și consumului de energie electrică, superior față de cele ale producției și respectiv consumului total de energie, deci — creșterea continuă a ponderii energiei electrice în totalul energiei, indicator cu care, totuși, mai sîntem încă în urmă față de țările industrializate dezvoltate.

Totodată, energetica noastră prezintă un indice înalt de termoficare, cu o pondere de 56,3% în anul 1986 a căldurii produse în termoficare în totalul căldurii produse și distribuite în instalații centralizate și o pondere de 44,4% a puterii electrice instalate în grupuri de termoficare în totalul puterii termoelectrice instalate.

În fine, sub acest aspect al unor indici cantitativi definitorii, se cuvine amintită, ca o problemă majoră a energeticii românești, cea a structurii (pe resurse energetice primare). Cu referire numai la producția de energie electrică,

---

* Ing. Lucia Roșca — director general al Institutului Central de Cercetări Energetice.

** La 31 octombrie 1987.

*** 1 pentajoule = 1 PJ = 10^{15} J.

datorită unor progrese considerabile făcute față de stadiul din urmă cu 22 de ani, cînd energia electrică produsă pe hidrocarburi a reprezentat 79,7% din energia termoelectrică produsă, din care numai cea pe gaze naturale — 74,2%; în anul 1986 energia electrică produsă pe bază de hidrocarburi a reprezentat totuși 66,5% din totalul energiei termoelectrice, din care pe gaze naturale 50,1%. Energia electrică produsă pe bază de cărbuni a ajuns în anul 1986 la aproape 31% din totalul energiei termoelectrice. Aceste cifre scot totodată în evidență dimensiunea eforturilor ce ne mai stau în față pentru continua îmbunătățire substanțială a structurii combustibilului utilizat pentru producerea energiei electrice. Mai dificilă se prezintă situația structurii de combustibil pentru producerea căldurii (energiei termice), produsă centralizat și livrată sub formă de abur și apă caldă, unde cărbunele a acoperit în 1986 numai 8,7%, hidrocarburilor revenindu-le 80,1%, din care gazelor naturale — 62,1%. Cantități mari de hidrocarburi și în special de gaze naturale se mai folosesc suplimentar de fapt tot în procese termice de joasă, medie și înaltă temperatură, în cadrul cantităților ce apar în statistici drept consum direct de combustibil, ca și, de altfel, ponderi importante de energie electrică livrată și consumată, ceea ce nu se reflectă în datele statistice.

Am insistat asupra acestor date de structură energetică pentru că ele sînt legate de probleme actuale de bază ale energeticii României. Știm că deceniul pe care îl parcurgem este caracterizat printr-un deficit acut între cererea de energie — în general, pe fiecare dintre resurse și pe fiecare dintre purtători, inclusiv și cu acuitate pentru energia electrică — și posibilitățile de a acoperi cererea; pentru energia electrică — și, după cum știm, și pentru gazele naturale — deficitul este atît la nivelul de energie, cît și la cel de putere, respectiv debit instantaneu livrabil la consumatori. De aceea, în procesul decizional privind energia au prioritate criteriile de necesitate și de emergență energetică. Eforturile generale ale energeticienilor, ale întregii economii, tind să asigure pentru un viitor cît mai apropiat — dar care va necesita ani și cincinale — echilibrarea treptată a balanței energetice pe un consum rațional și eficient de energie în economia națională, asigurarea unor regimuri întîi tehnic normale și apoi optime de funcționare a instalațiilor și a sistemului electroenergetic în ansamblu. În deciziile privind problemele producției de energie și în cele ale economisirii energiei trebuie să tindem să revină treptat în drepturile lor criteriile de securitate a alimentării cu energie, de eficiență economică și de oportunitate socială și ecologică. Într-o perspectivă pe termen mai lung, după mai multe cincinale, putem spera la o relaxare mai sensibilă a ponderii restricțiilor energetice în procesul dezvoltării economico-sociale, printr-o civilizație tehnologică bazată pe un înalt nivel de eficiență și raționalitate în obținerea și în utilizarea energiei, cu un rol primordial al criteriilor social-umane și ecologice. Cînd am vorbit de ani, cincinale și multe cincinale nu am improvizat: și pe plan mondial, ceea ce este denumit tranziția energetică este estimat la multe decenii, afirmație cu atît mai valabilă pentru țări în care deficitul energetic actual este acut, cum este România. Cu atît mai intense trebuie să fie, însă, eforturile noastre pentru a accelera tranziția energetică, soluționarea problemelor energetice cu care ne confruntăm.

Parcurgerea de către țara noastră a acestor etape și viteza cu care le vom străbate se află în relație directă cu progresul științei și tehnologiei românești în ansamblu și cu cel privind energetica în special, pentru că alte resurse care să ne asigure energia de care avem azi nevoie altfel, fără știință și tehnologie, nu există. Pentru a susține afirmația, trebuie să ne întoarcem la unele cauze de esență ale actualei situații energetice și la căile care ne stau în față pentru a le remedia. Aceste cauze sînt multiple; unele sînt extraenergetice, altele țin de sfera energeticii în ansamblu, în fine — o serie de cauze revin direct electroenergeticii, dar ele formează împreună un tot. Pornind de la general spre particular, vom aminti că s-a ajuns, după cum a arătat tovarășul Nicolae Ceaușescu, la o disproporție între dezvoltarea industriei prelucrătoare și baza energetică și de materii prime. Structura economiei, cu ponderi mari ale ramurilor, subramurilor și produselor energointensive, ale exportului de produse energointensive, s-a întîlnit cu fenomene de plafonare și apoi de început de declin al producției principalelor resurse energetice fosile, care ocupă ponderi mari în balanța energetică națională și în balanțele energiei electrice și termice, după cum am amintit — petrolul și, mai recent, și gazele naturale, ca urmare a exigențelor de conservare a zăcămintelor. Așadar, pe de o parte, creșterea economică susținută necesită creșteri ale consumurilor totale de energie, iar, pe de altă parte, țițeiul și gazele naturale trebuie să fie substituite: din această dublă condiționare decurge marele efort pe care trebuie să îl depunem pentru asigurarea creșterii producției de resurse energetice de substituție — cărbune, energie hidro, nucleară, precum și valorificarea surselor noi și a celor refolosibile. Acestea trebuie să acopere în primul rînd deficitul creat în ceea ce privește petrolul și gazele naturale, pe lîngă cerințele creșterii economice în continuare (care, în condițiile unei valorificări eficiente a energiei în economia națională, nu ar fi atît de stringente, după cum rezultă din cifrele comparative pe care le-am citat la începutul articolului). Asimilarea resurselor de substituție ridică fiecare în parte probleme tehnologice

noi, probleme economico-financiare dificile — date fiind investițiile specifice și cheltuielile specifice de exploatare ridicate pe care le comportă, probleme ecologice — care pînă la urmă amplifică atît dificultățile tehnologice, cît și pe cele economico-financiare.

În acest context trebuie menționată importanța primordială a politicii de economisire a energiei în toate sferele, în primul rînd prin dezvoltarea ramurilor, subramurilor și produselor cu grad înalt de prelucrare, care valorifică superior resursele energetice și de materii prime — sarcină de mult înscrisă în documente programatice ale partidului nostru. Aceasta implică eforturi științifice și tehnice pentru noile tehnologii necesare, pentru noile produse cu grad înalt de prelucrare, inclusiv pentru a le asigura competitivitatea la export, unde concurența ofertei este mult mai acută decît pentru produsele energointensive. În al doilea rînd — dar de egală importanță, capacitățile de producții energointensive necesită modernizări radicale, pentru reducerea consumurilor specifice și a cantităților totale de energie absorbite de ramurile respective.

Față de toate cele arătate, în mod special electroenergetica are de făcut față unui spor suplimentar de solicitări din partea sferei consumului, unde substituția prin energie electrică a altor purtători — a produselor petroliere — are loc un numai în virtutea unei tendințe generale a progresului tehnic, pentru a asigura tehnologii de înaltă calitate, creșteri de productivitate a muncii etc., ci și, uneori nejustificat, pentru a face față la reduceri de consumuri de hidrocarburi fără pregătirea tehnică aferentă. Aceasta, cînd se face în mod improvizat, conduce frecvent la spor de consum de resurse energetice la scara economiei naționale și, în orice caz, la accentuarea deficitului de putere și energie electrică. Rezultă deci obiectivul unor alocări optime ale purtătorilor de energie adecvați și eficienți în condițiile energetice actuale; cu atît mai direct se pune problema corelărilor de producție și livrare pentru purtătorii coordonați de Ministerul Energiei Electrice — energia electrică și energia termică.

Fără a mai dezvolta alte aspecte din vasta problematică a economiei energiei și revenind la problemele producției de energie electrică și termică, în fruntea priorităților se situează, desigur, pe de o parte, asigurarea disponibilității, fiabilității, continuității de funcționare a marilor centrale termoelectrice pe cărbune inferior și, pe de altă parte, realizarea corespunzătoare a centralelor nuclearoelectrice.

Asigurarea funcționării continue, la parametri cît mai apropiați de cei nominali, a blocurilor termoenergetice din centralele pe cărbune construite și de la centralele de termoficare aflate în curs de realizare și punere în funcțiune constituie o preocupare ce concentrează importante forțe tehnice, pentru înfăptuirea măsurilor și sarcinilor stabilite de conducerea partidului și statului. Este vorba, în principal, de soluțiile legate de buna funcționare a morilor de cărbune, ventilatoarelor de gaze, pompelor de alimentare, armăturilor de apă-abur, de asimilarea oțelurilor speciale pentru conductele de înaltă presiune, stabilirea soluțiilor corespunzătoare pentru întreținerea benzilor transportoare și altele.

Fără a intra în alte detalii, fără a mai cita cifra — foarte scăzută — de ore medii de utilizare a puterii instalate la aceste centrale, vom repeta constatarea că problematica tehnicității și calității concepției și realizării centralelor, instalațiilor, echipamentelor, de la nivelul soluțiilor de ansamblu și pînă la detaliile concrete ale tuturor componentelor obiectivelor energetice, inclusiv corelările tehnice între acestea, afectează în mod nemijlocit dezvoltarea energetică însăși, soluționarea problemelor energetice ale economiei în ansamblu. Este o experiență și o concluzie de care sîntem obligați să ținem seama în întreaga noastră activitate viitoare și sînt de folosit toate căile preventive de asigurare a calității obiectivelor noastre energetice, clasice și nucleare, prin remedierea și modernizarea celor existente și realizarea tuturor pregătirilor tehnice necesare pentru obiectivele noi. Ca o primă condiție primordială, trebuie să ne propunem și treptat să reușim — noi, energeticienii, împreună cu constructorii de utilaj greu electrotehnic și electronic, cu metalurgii și chimiștii, cu constructorii — să ajungem în situația, uzuală pe plan mondial, ca utilajele și instalațiile energetice să funcționeze normal, continuu. Aceasta constituie condiția pentru îndeplinirea țelurilor energetice, a celor economice, de productivitate a muncii etc. De fapt, tot probleme de calitate stau și la baza duratelor actuale exagerate de realizare a investițiilor și de atingere a parametrilor proiectați, ceea ce imobilizează mari resurse umane, materiale și financiare. Este, de altfel, bine cunoscut faptul că în calculele comparative de eficiență și de costuri pentru energia livrată din diferite surse, literatura mondială introduce cu acuitate duratele de realizare și de punere în funcțiune a CNE, ce condiționează în mod sensibil competitivitatea energiei electrice de proveniență nucleară.

În acest context, a fost asigurată mobilizarea specialiștilor și participarea lor directă în instalațiile sistemului electroenergetic, la îndreptarea stărilor de lucruri în special în centralele electrice pe cărbune. Ne-am concentrat atenția la modernizarea acestor instalații, obiectiv prioritar, și în mod deosebit a blocurilor energetice de 330 MW, echipate cu cazane de 1035 t/h pe lignit din centralele termoelectrice Rovinari și Turceni. Prin soluțiile date de cer rii din ICEMENERG s-a asigurat punerea în

funcțiune, în prima parte a anului 1986, a primelor două blocuri modernizate, care acum sînt în exploatare continuă, și au fost finalizate lucrările la încă trei blocuri de același tip. La aceste blocuri s-au realizat modernizări de structură prin soluții noi de înlocuire a sistemului fierbător, înlocuiri de țevi, modificarea morilor de cărbune, a sistemului de insuflare a aerului secundar la arzătoarele de praf, mărirea eficienței electrofiltrelor.

Numeroși specialiști, dintre cei mai buni, au fost trimiși în toate marile termocentrale, unde dau asistență tehnică unităților de exploatare la lucrările de modernizare a instalațiilor, la îmbunătățirea funcționării centralelor electrice, la analiza avariilor și instruirea personalului de exploatare, pentru a se asigura realizarea producției de energie electrică programată pentru etapa actuală, în vederea încadrării în consumurile specifice și proprii tehnologice de proiect, atît pentru reducerea la minimum a consumului de hidrocarburi, cît și pentru asigurarea punerii în funcțiune a noilor obiective energetice și a celor modernizate în urma reparațiilor capitale.

Așadar, problema calității obiectivelor noastre energetice poate fi considerată ca principală, centrală, hotărîtoare. Pentru soluționarea ei trebuie să depistăm și să corectăm tot ceea ce a cauzat în trecut și poate cauza în viitor deficiențe de calitate, într-un ciclu tehnologic normal de asigurare a calității. Acest ciclu nu poate să nu includă pe viitor o temeinică activitate de cercetare premergătoare proiectării, atît a investițiilor, cît și echipamentelor, din care să decurgă condiții tehnice fundamentate, amănunțite și ferme, care să prevadă și să prevină tot ce se poate întîmpla în condiții reale de exploatare, cerințe tehnice pe care să se clădească metode și mijloace de încercare complete și concludente și, în paralel, cercetări care să finiseze și să coreleze soluțiile pînă la ultimul detaliu și să le facă apte de reproductibilitate industrială și stabilitate în funcționare de durată, obiectiv verificat prin încercările și probele de recepție cele mai severe. Trebuie să știm să alocăm resursele necesare unor astfel de cercetări — în energetică, în construcția de utilaj greu, în electrotehnică și electronică, în celelalte ramuri și specialități furnizoare și constructoare — și în orice caz aceste cercetări nu vor putea dura și costa atîta cît, de exemplu, eforturile îndelungate pentru remedierea deficiențelor de la centralele Rovinari și Turceni.

În acest scop, ne preocupă și ne propunem, după îndeplinirea sarcinilor ce ne revin acum cu acuitate pentru buna funcționare a centralelor pe cărbune, cuprinderea în cercetare a responsabilității pentru concepția și soluțiile tehnice ale programelor de dezvoltare energetică, ale obiectivelor viitoare de investiții noi și modernizate, ale sistemelor de echipamente energetice. Se impune deplasarea preocupărilor cercetării de la fazele finale ale ciclului cercetare-proiectare-producție (încercări, puneri în funcțiune, remedieri de deficiențe) spre cele inițiale (soluții tehnice, optimizări și fundamentări pentru temele de proiectare ale investițiilor și pentru condițiile tehnice ale echipamentelor) și intermediare (avizarea complexă a proiectelor și a condițiilor tehnice).

O atenție deosebită urmează să acordăm, în particular, cercetărilor consacrate funcționalității și securității centralelor nuclearoelectrice, corelărilor între partea clasică și cea nucleară, soluțiilor specifice necesare în partea clasică a CNE, problematicilor de exploatare și regimurilor CNE luate în ansamblu și în cadrul SEN.

Se impun îmbunătățiri și în ceea ce privește corelările de profil între cercetarea energetică și cea de construcții de echipamente energetice, elemente și echipamente de automatizare etc. Cercetarea din MEE trebuie să realizeze preponderent cercetări de tehnologie energetică, sub aspectul proceselor energetice complexe și al celor elementare și sub aspectul necesităților exploatării, cercetări din care să decurgă cerințe de funcțiuni, parametri, regimuri, iar soluțiile constructive și tehnologice de execuție concrete să revină cercetătorilor, furnizorilor — desigur, într-o strînsă colaborare și cooperare. Totodată, cercetarea energetică trebuie să devină aptă să fundamenteze asimilarea și realizarea de către furnizori a elementelor, componentelor, echipamentelor de serie, inclusiv în livrări complexe, și să influențeze asimilările de produse de uz general, astfel încît acestea să satisfacă, sub toate aspectele tehnico-funcționale, necesitățile energeticii.

Am insistat deosebit asupra unor probleme de calitate; acestea se plasează în cadrul priorităților politicii energetice a partidului nostru, al sarcinilor concrete ce ne revin și pe care nu le-am detaliat în acest articol, fiind cunoscute; reamintirea lor pe scurt se impune totuși, pe lîngă cele deja menționate: reducerea consumurilor specifice și a consumurilor proprii tehnologice în centralele și rețelele electrice, modernizarea instalațiilor din centrale și rețele prin automatizarea și optimizarea complexă a conducerii proceselor folosind tehnica de calcul, valorificarea surselor noi și refolosibile de energie, economisirea și valorificarea eficientă a energiei la consumatori, fundamentarea actualizării programelor de dezvoltare energetică, cercetări pregătitoare, inclusiv fundamentale, pentru tehnologii energetice avansate, de perspectivă.

Din cele arătate, rezultă amploarea și importanța problemelor actuale ale energeticii României, direcțiile principale de soluționare, căile pe care și le propune cercetarea energetică pentru o contribuție majoră la soluționarea lor, angajarea totală a specialiștilor energeticieni de a înfăptui obiectivele programului energetic, ale dezvoltării economiei noastre socialiste.

Energiile regenerabile. Situația actuală și tendințe de viitor

Prof. dr. ing. Julieta Florea, prof. dr. doc. ing. Vasile Nitu *

Descriptori : energii regenerabile

Considerații generale

În țara noastră problematica energiilor regenerabile a reprezentat o pondere însemnată în planurile de cercetare ale institutelor centrale de cercetări, ale institutelor de învățămînt superior, inclusiv în preocupările unor unități economice.

Numeroasele manifestări științifice, conferințe naționale, simpozioane, consfătuiri etc. consacrate acestei tematici au dat posibilitatea efectuării unui bilanț al cercetărilor și realizărilor practice. S-a dezvoltat o literatură tehnică și științifică de specialitate proprie, constînd din referate prezentate la manifestările menționate, articole și cărți de specialitate [1—27]. La nivel mondial, sub auspiciile ONU, s-a desfășurat la Sophia Antipolis (Franța), 29 iunie — 3 iulie 1987 *„Colocviul asupra situației și perspectivele surselor noi și regenerabile de energie în regiunea CE—ONU"*. Realizările din țara noastră au făcut obiectul a numeroase comunicări prezentate la această prestigioasă manifestare [28—36], reflectate amplu în referatele generale.

Sursele bibliografice menționate atestă că cercetarea românească a abordat aspectele majore ale energiilor regenerabile, valorificabile în condițiile țării noastre, ceea ce ne situează printre țările cu preocupări majore în acest domeniu. Datorită caracterului difuz și intermitent al energiilor regenerabile competitivitatea economică a tehnologiilor de conversie ale acestora este încă la niveluri inferioare, ceea ce obligă la continuarea actualelor cercetări și la noi abordări. Din acest punct de vedere cunoașterea tendințelor de valorificare a energiilor regenerabile existente pe plan mondial ne permite să evaluăm la justa valoare realizările noastre, precum și orientările viitoare. Energiile regenerabile au reprezentat o preocupare constantă în evoluția societății umane, ponderea lor variind în funcție de caracteristicile tehnice și economice ale formelor de energie concurente. Caracterul difuz și intermitent al energiilor regenerabile a intrat în concurență cu energiile dense — combustibilii fosili și minerali — care s-au impus prin concentrare, transportabilitate la distanță, stocabilitate, capacitate de transformare în alte forme de energie și economicitate. Duratele iminente de epuizare a combustibililor fosili și minerali aduc în actualitate energiile regenerabile. Întreaga evoluție energetică mondială a fost marcată, în ultimii ani, de criza petrolului, declanșată în anul 1973. Totodată a ieșit în evidență faptul că tehnologiile actuale de producere și utilizare a energiei nu asigură o valorificare superioară a combustibililor fosili și minerali, că aceste tehnologii se caracterizează prin randamente inferioare, iar ciclurile realizării și implementării sînt lungi și costisitoare. Analize mai profunde și legea entropiei scot cu pregnanță în evidență că limitele combustibililor fosili și minerali nu sînt de ordin fizic, ci de ordin economic și ecologic. Înseși prognozele cu privire la structura balanței energetice la nivel mondial variază, punctele de vedere diferind în funcție de principiile adoptate.

În tabelul 1 se prezintă prognoza discutată în cadrul Conferinței Mondiale a Energiei — München 1980, avînd la bază principiile tradiționale, din care rezultă că energiile regenerabile vor fi dominante în intervalul 2100—2200.

Prin acceptarea ca principiu de bază a minimizării factorilor de risc, dr. Richard Caputo, de la Institutul de Tehnologii din Pasadena — S.U.A.,

Tabelul 1

Tipul combustibilului și energiei	Participarea [%]				
	1800	1900	2000	2100	2200
Combustibili vegetali	84,4	40,0	2,0	—	—
Cărbune și lignit	5,5	56,0	20,0	7,0	2,0
Țiței și gaze naturale	—	3	56,5 (48)	1,0	—
Energie nucleară	—	—	16,5 (25)	36,0	4,0
Energie hidro, resurse noi și regenerabile, tehnologii noi	10,1	0,8	5,0	56,0	95,0
Total	100%	100%	100%	100%	100%

Tabelul 2

Tipul combustibilului/ /tehnologiei	Participarea [%]		
	2000	2050	2100
Țiței și gaze naturale	48	5	—
Cărbune	25	5	—
Energie nucleară LWR	12	—	—
FBR	3	4	—
Combustibil vegetal (biomasă)	6	12	8
Energie hidro	6	6	4
Solar electric	—	18	3
Solar H_2	—	50	85
Total	100%	100%	100%

* Prof. dr. ing. Julieta Florea — decan, prof. dr. doc. ing. Vasile Nitu — Facultatea de Electrotehnică-Energetică, Institutul Politehnic București.

propune, în 1984, o variantă diferită de dezvoltare (tabelul 2).

Înseși nivelurile de consum prognozate au variat în timp. Dacă la începutul anilor '70 se prognoza pentru anul 2000 un consum de 25—30 miliarde tc.c., în prezent se prognozează circa 15 miliarde tc.c., față de un consum de circa 10 miliarde în etapa actuală. Prin urmare, energetica viitorului va cunoaște importante mutații de structură și ritm, iar costurile de obținere a energiei utile vor fi în continuă creștere.

2. Evaluarea potențialului energiilor regenerabile de care se dispune în prezent și a potențialului amenajat

Potențialul teoretic al energiilor regenerabile se apreciază a fi foarte mare, din care însă o mică parte este amenajat. După datele prezentate la colocviul asupra situației și perspectivelor energiilor noi și regenerabile în zona CEE—ONU, organizat de CEE—ONU la Sophia Antipolis (Franța), 29 iunie — 3 iulie 1987, au rezultat următoarele:

— potențialul economic amenajabil al energiei hidroelectrice în întreaga lume este apreciat la 9000 TWh/an, din care este amenajat circa 3300 TWh/an, ceea ce echivalează cu 0,4 miliarde t c.c/an;

— energia eoliană, apreciată ca deținînd un potențial deosebit de ridicat, este amenajată în proporții reduse: 16 000 de aerogeneratoare cu 1100 MWe putere instalată în întreaga lume;

— energia mărilor: energia termică în Japonia — 100 kWe, S.U.A. — 1 MWe; energia mareomotrice în Franța (Rance) — 240 MWe, Canada (Annapolis) — 20 MWe; China — 11 MWe, U.R.S.S. (Kislogubsk) — 800 kWe. Potențialul amenajat reprezintă o infimă parte din potențialul teoretic;

— energia geotermică este valorificată în instalații de producere a energiei electrice totalizînd 5000 MWe și în instalații termice de 10 000 MWT, ceea ce reprezintă o mică parte din potențialul amenajabil;

— energia biomasei și a deșeurilor organice se valorifică prin intermediul procedeelor mecanice, biologice (biogaz, etanol, metanol), termochimice, în prezent în proporție redusă, dar cu perspectivă în viitor;

— energia solară în etapa actuală se valorifică prin: sisteme de colectoare de joasă temperatură, sisteme de colectoare de înaltă temperatură (concentratcare parabolice, oglinzi Fresnel, etc.), conversia fotovoltaică concretizată în instalații cu o putere instalată de 40 MWe la nivelul anului 1986, programîndu-se 4500 MWe la nivelul anului 2000. De menționat că în cadrul colocviului amintit nu s-a discutat despre valorificarea energiei solare prin centrale spațiale geostaționare și nu a fost reținută în concluzii filiera termodinamică, iar colectoarele de joasă temperatură au fost apreciate ca neeconomice. Pentru a înțelege mai bine tendințele existente pe plan mondial, vom expune situația valorificării energiilor regenerabile din țări în care se acordă atenție acestei probleme și situate în zone geografice diferite.

R. F. Germania. Contribuția energiilor noi și regenerabile (ENR) la satisfacerea tuturor necesităților de energie primară a fost în anul 1986 de 9 milioane t c.c., respectiv 2% din consumul total de energie. Perspectiva folosirii ENR în R.F.G. se examinează prin prisma a două variante:

— o variantă considerată ca favorabilă, în care creșterea prețului la petrol și la gazele naturale va fi de 2% pe an pînă în anul 1980 și de 4% după 1980, în condițiile în care procentul de actualizare la prețuri constante este de 0,5% pe an;

— o variantă defavorabilă presupune ca pînă în 1990 prețul la petrol și gaze rămîne constant, iar după 1990 va crește cu 2% pe an; coeficientul de actualizare este de 4,5% pe an.

În tabelul 3 se prezintă prognoza energiilor noi și regenerabile în R. F. Germania pentru anii 1990 și 2000.

Tabelul 3

Perspectiva energiilor regenerabile în R. F. Germania

Surse și tehnologii	1990		2000	
	Potențial economic (10^{15} J)*	Potențial realizabil (10^{15} J)*	Potențial economic (10^{15} J)*	Potențial realizabil (10^{15} J)*
Varianta favorabilă				
Energie solară	30	17	91	75
Energie eoliană	371	1	371	54
Energie hidraulică	287	201	297	217
Biomasă/deșeuri	264	114	311	182
Total	1153	411	1313	703
Varianta defavorabilă				
Energie solară	17	12	48	46
Energie eoliană	362	1	362	1
Energie hidraulică	268	195	268	206
Biomasă/deșeuri	199	108	255	147
Total	856	320	890	452

* 1 kcal = 4,19 kJ
10^{15} J = 1 pentajoules

Pe ansamblul țărilor din zona CEE—ONU se prognozează o valorificare a ENR, conform datelor din tabelul 4.

În R. S. Cehoslovacă preocupările pentru atragerea energiilor noi și regenerabile se caracterizează prin moderație, după cum rezultă din tabelul 5. La nivelul anului 2000 se prognozează că energiile regenerabile, inclusiv microhidrocentralele, vor reprezenta circa 1% din consumul total.

R. P. Chineză posedă un teritoriu de 9 600 000 km² și o populație de peste 1 miliard

Tabelul 4

Substituția combustibililor tradiționali

[Mtep]*

Sursa	1985	2000
Energie solară	1,0	6—8
Biomasă (fără)	0,5	9—14
Energie geotermică	0,6	6—7
Energie eoliană	0,2	5—6
Energie hidraulică	13,0**	16—17
Total	15,3	42—52

* 1 kg ep = 9000 kcal
1 kg cc = 7000 kcal
** Din aceste 13 mil. tone, numai 1 milion provine din cursurile mici de apă.

Tabelul 5

Formele de energii noi și regenerabile	1986	1990
	Cantitatea	Echivalent t cc/an
Energie solară	100 000 m²	9000
a) apă de încălzire		
b) aer de încălzire	120 000 m²	7000
Energie geotermală	9 800 kW	9000
Energia vîntului	400 kW	120
Biogaz		
a) deșeuri ferme	67 800 m³/zi	30 000
b) deșeuri urbane	11 800 m³/zi	10 000
Instalații de incinerare	110 t/h	99 000
Pompe de încălzire		
a) pînă la 5 kW	18 000 kW	6 000
b) 5—50 kW	18 000 kW	12 000
c) peste 50 kW	10 000 kW	8 000
Total		190 120 tc.c./an 5700 TJ

locuitori, din care circa 80 % se găsește în regiunile rurale. În 1983 populația rurală a consumat 360 mil. t c.c., respectiv 39 % din consumul total de energie al țării. Politica energetică a guvernului chinez este stimularea inițiativelor locale de valorificare a resurselor energetice, dînd prioritate realizărilor la scară locală, și favorizarea rezultatelor practice. Printre acestea un loc important ocupă hidrocentralele mici de puteri de cel mult 12 MW, care reprezintă un potențial teoretic de 150 GW și un potențial explcatabil de 71 GW. La sfîrșitul anului 1986 puterea instalată a centralelor hidroelectrice mici era de 10 GW, respectiv a opta parte din puterea total instalată.

În Australia în anul 1984—85, energiile regenerabile au reprezentat $213 \cdot 10^{15}$ J, ceea ce înseamnă 6,3 % din consumul australian de energie.

2. Criteriile de alegere a tehnologiilor de valorificare a energiilor regenerabile

Deciziile în promovarea tehnologiilor energetice tradiționale se iau pe baza criteriilor economice, varianta cea mai economică trebuind să se caracterizeze prin cele mai reduse cheltuieli actualizate.

În cazul tehnologiilor energetice noi cum sînt tehnologiile nucleare, generatoarele MHD, energiile noi și regenerabile etc. trebuie să se adopte și criteriul energetic, exprimat prin „*termenul de recuperare energetică*". Este știut că instalațiile care compun o anumită tehnologie au necesitat pentru realizarea lor o anumită cantitate de energie, numită și investiție energetică. Este elementar, conform legităților economice și energetice ale societății, ca investițiile economice și cele energetice să fie recuperate într-un termen inferior duratei de viață a instalației. Consumăm energie pentru a produce energie, dar într-un bilanț energetic excedentar.

Publicațiile de specialitate sînt unanime în părerea că utilizarea energiilor noi și regenerabile se găsește în cazul cel mai bun la limita inferioară a viabilității economice. Acestea necesită investiții mari, iar prețul de cost este superior prețului energiilor convenționale. Pentru consumatorii izolați, specialiștii sînt unanim de acord în aprecierea că energiile regenerabile sînt competitive, avînd în vedere că energiile regenerabile contribuie la creșterea autonomiei energetice, reduc impactul asupra mediului înconjurător și reprezintă o alternativă de perspectivă față de combustibilii fosili și minerali caracterizați prin epuizabilitate. Se prognozează o creștere a ponderilor, în perspectiva anilor 2000, cu 50—300 % față de situația prezentă.

Cel mai important eveniment în evoluția valorificării energiilor regenerabile îl reprezintă oprirea definitivă a centralei electrosolare Thémis-Franța. CES Thémis — avea o putere de 2 MWe și era realizată în filiera termodinamică. Argumentele care au pledat pentru oprire au fost :

— economice : investițiile specifice și prețul de cost al energiei produse au fost foarte mari și nu se întrevedea nici o posibilitate de recuperare a investițiilor făcute ;

— energetice : CES Thémis a necesitat un important consum de energie (investiția energetică inițială) și un consum de energie mare pentru întreținerea centralei pe perioadele de nefuncționare, consumuri care nu puteau fi recuperate pe durata de viață a centralei. Experiența CES Thémis și alte rezultate ale acestei filiere au demonstrat ca filiera termodinamică nu este oportună pentru valorificarea energiei solare, concluzie reținută și de colocviul asupra situației și perspectivele energiilor noi și regenerabile în regiunea CEE—ONU de la Sophia Antipolis (Franța), 29 VI—3 VII 1987.

Aceste realități ne arată că starea euforică care a intervenit după criza petrolului din 1973, în legătură cu energiile regenerabile a evoluat în direcția abordărilor obiective, critice, responsabile.

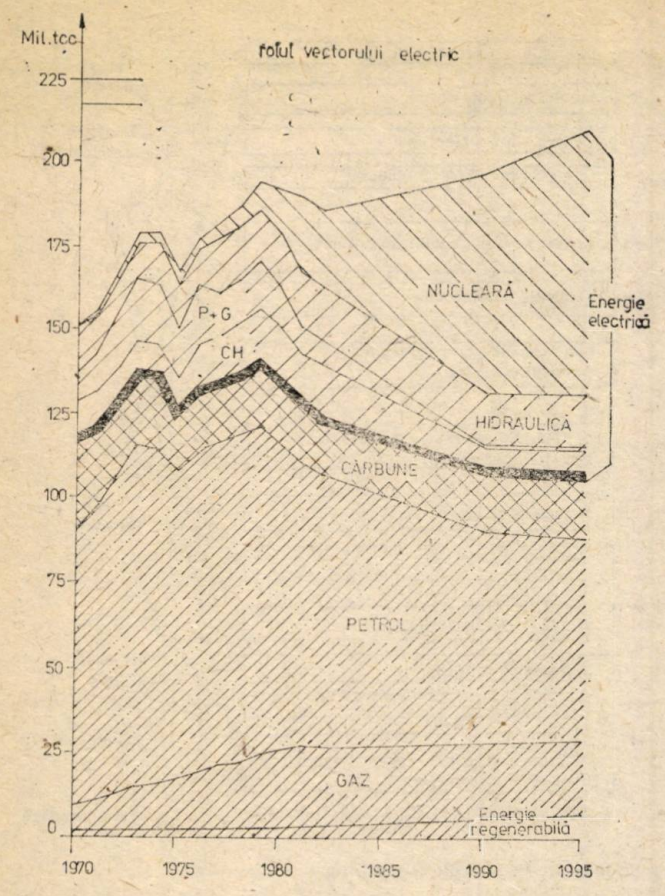


Fig. 1. Prognoza consumului de energie primară în Franța la nivelul anului 1995.

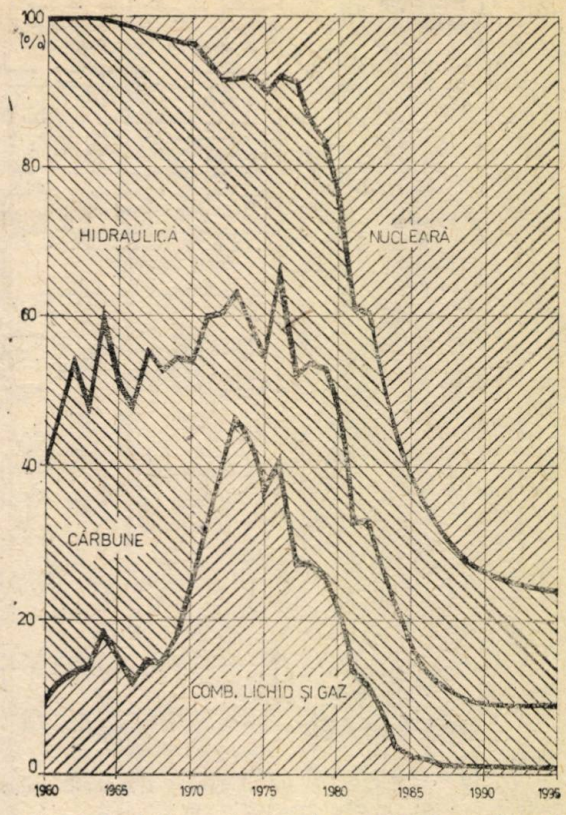


Fig. 2. Evoluția producției de energie electrică pe tip de energie primară în Franța.

Competiția tehnologiilor va continua, în final trebuind să fie adoptate tehnologiile care se impun prin performanțele economice și energetice superioare. Energiile regenerabile trebuie examinate în competiția lor cu tehnologiile care valorifică combustibilii fosili și minerali.

Pentru a ilustra dinamica acestei competiții vom exemplifica cu politica energetică a Franței pe termen scurt și mediu. Între situația energetică a Franței și a R. S. România sînt unele similitudini, ambele țări fiind relativ sărace în resurse energetice clasice, iar pozițiile și configurațiile geografice relativ apropiate. Consumul energetic al Franței reprezintă 2,4% din consumul mondial și 0,1% din rezervele mondiale de energie stocate de natură.

În figura 1 se prezintă prognoza consumului de energie primară în Franța la nivelul anului 1995. Se poate observa că energiile regenerabile cunosc o creștere continuă, dar ponderile lor sînt reduse.

Competiția economică și energetică este în favoarea energiei nucleare (fig. 2), în perioada prognozată. Competiția tehnologiilor are loc în condițiile creșterii continue a eficienței

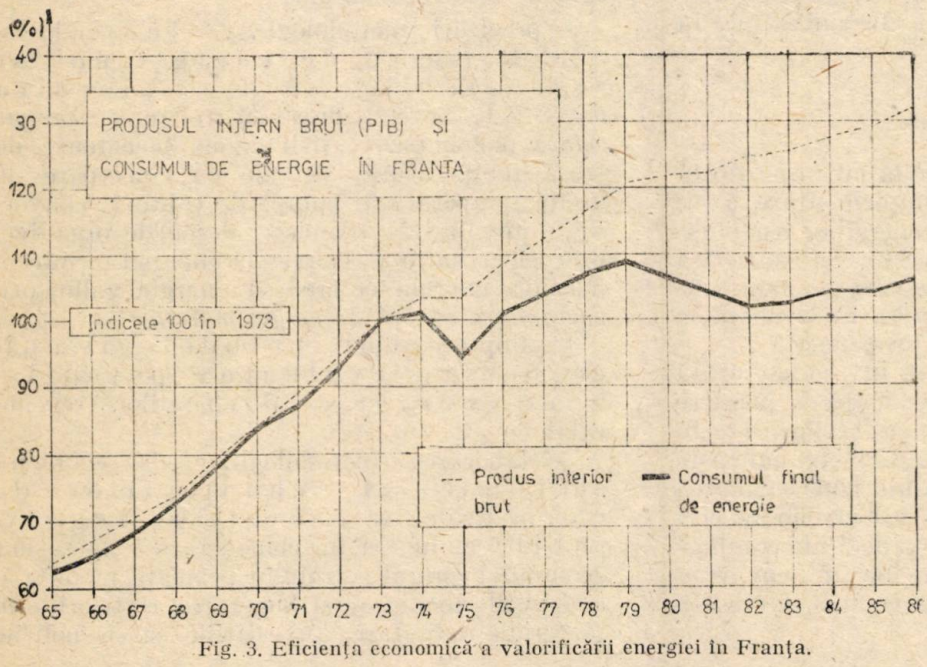


Fig. 3. Eficiența economică a valorificării energiei în Franța.

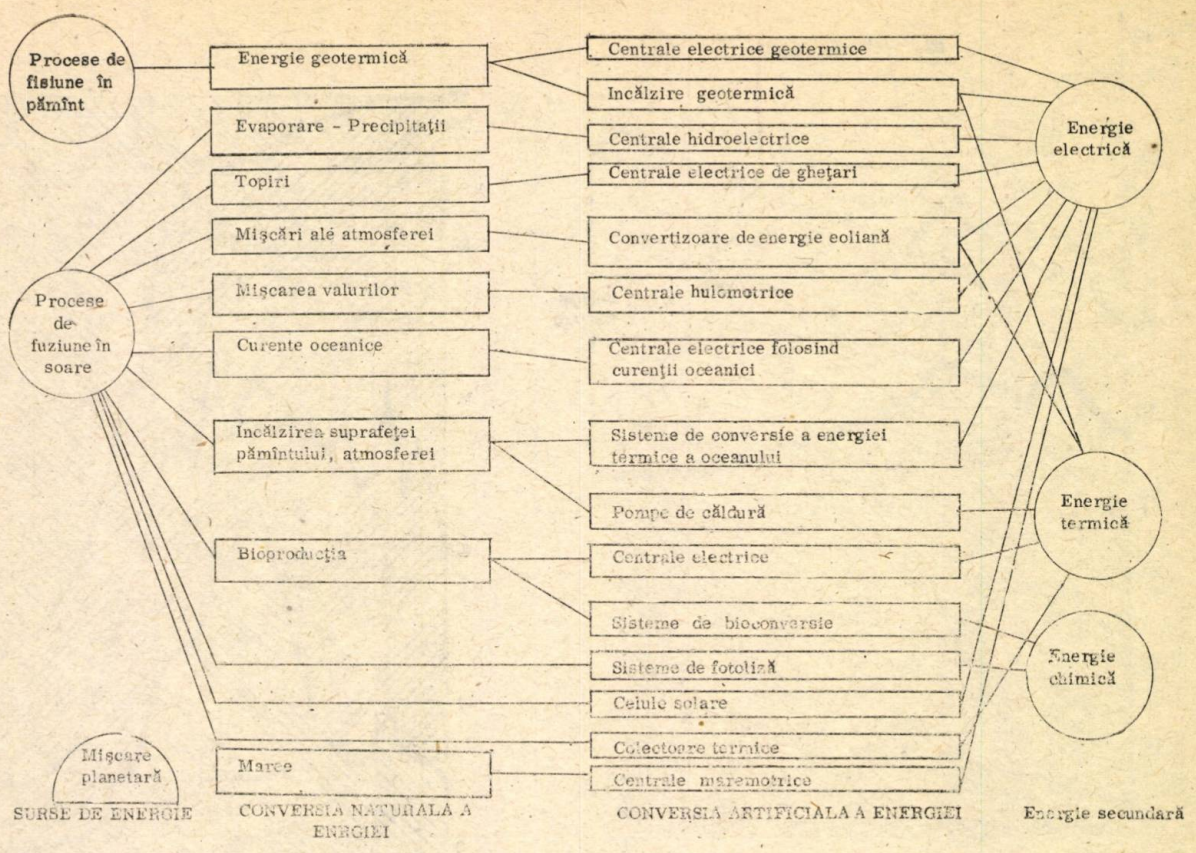


Fig. 4. Conversia energiilor regenerabile în energii secundare.

valorificării energiei. Fiecare tonă de combustibil convențional trebuie să producă progresiv tot mai mult venit național (fig. 3). În acest context energiile regenerabile trebuie să demonstreze competitivitatea lor economică și energetică prin perfecționarea tehnologiilor de conversie, respectiv îmbunătățirea principalilor indicatori : randamente, investiții și costuri specifice, fiabilitate și disponibilitate în funcționare etc.

Concluzii și tendințe de viitor

În țara noastră s-a acumulat o importantă experiență de cercetare și implementare a instalațiilor de valorificare a energiilor regenerabile. Nivelul și întinderea acestor cercetări, așa cum rezultă din stadiul realizărilor pe plan mondial și din tendințele existente, ne situează la loc de frunte printre țările europene.

Experiența acumulată pînă în prezent arată că deși energiile regenerabile ocupă o pondere redusă în balanța energetică a țărilor, iar în viitorul previzibil aceste ponderi vor cunoaște evoluții lente (circa 10 % în anul 2000, cu luarea în considerare a energiei hidroelectrice) în perspectiva mai îndepărtată, cînd declinul combustibililor fosili și minerali devine iminent, ponderile energiilor regenerabile trebuie să crească sensibil.

Prin urmare, rezultă ca o necesitate obiectivă continuarea cercetărilor în vederea promovării unor tehnologii verificate, performante, competitive. Potențarea cercetărilor va trebui să se facă în funcție de energiile regenerabile disponibile și formele de energie secundară necesare (fig. 4). Pentru activitățile viitoare se reține următoarele recomandări :

— precizări metodologice : inițialele SENR (surse de energii noi și regenerabile) să fie înlocuite de SER, care să cuprindă trei surse : *energie solară* (solar pasiv, sisteme cu colectoare de joasă temperatură, sisteme cu colectoare de înaltă temperatură, pompe de căldură, conversie, fotovoltaică, biomasă, deșeurile organice, hidroelectricitatea, conversia energiei termice a mărilor, energia eoliană și energia valurilor), *energia geotermică* și *energia mareelor* ;

— adoptarea unor metodologii unice pentru evaluarea potențialului energetic al energiilor regenerabile ;

— elaborarea metodologiilor de calcul economic al tehnologiilor de conversie a energiilor regenerabile cu luarea în considerare a factorilor economici (prețul petrolului pe piața mondială, restricțiile monetare și bugetare, restricțiile în materiale deficitare, investițiile etc.), politici

(independența energetică), cooperarea internațională (transferul de tehnologii), ecologici (impactul asupra mediului înconjurător) etc.;

— stimularea cercetării autohtone, inclusiv prin extinderea cooperării internaționale pe temele majore, care condiționează promovarea energiilor regenerabile: arhitectura solară, stocarea sezonieră a căldurii, conversia fotovoltaică, instalațiile de utilizare a biomasei și a deșeurilor organice, instalațiile de biogaz, agregatele eoliene, instalațiile geotermale etc.

Bibliografie

[1] Staicu, C. I., Bilegan, C., Mihăilă, Al., Predica, A. *Stocarea termică sezonieră.* În: Energetica, 31, 1983, nr. 1, p. 35—39.

[2] Țânțăreanu, Cr. *Avantajele energetice ale funcționării cu turație variabilă a grupurilor aerogeneratoare de mare putere.* În: Energetica, 32, 1984, nr. 3, p. 125—131.

[3] Popescu, C., Marin, Șt., Lauric, M. *Concepție de ansamblu și soluțiile tehnologice aplicate în execuția heliostatelor pentru centrala solară cu ciclu termodinamic de înaltă temperatură.* În: Energetica, 32, 1984, nr. 4, p. 154—161.

[4] Potlog, D. M., Popescu, C., Turcu, I. *Acționarea electrică în curent alternativ a heliostatelor unei centrale solaroelectrice cu turn.* În: Energetica, 32, 1984, nr. 4, p. 161—168.

[5] Vărzaru, V., Lauric, M., Molnar, T. *Concentrator parabolic pentru centrala solaroelectrică cu concentrare distribuită.* În: Energetica, 32, 1984, nr. 4, p. 168—173.

[6] Voicu, Gh., Țânțăreanu, Cr., Tudor, M. *Grupul aerogenerator tip SAG.* În: Energetica, 32, 1984, nr. 4, p. 180—185.

[7] Țânțăreanu, Cr. *Generatorul asincron cu dublă alimentare o soluție pentru grupuri energetice neconvenționale.* În: Energetica, 32, 1984, nr. 4, p. 185—189.

[8] Dumitru, C., Dumitru, D. *Energii vehiculate și stocate pe Terra.* În: Energetica, 32, 1984, nr. 11, p. 492—498.

[9] Mihăileanu, C. *Sursele noi de energie în energetica de tranziție.* În: Energetica, 33, 1985, nr. 5, p. 193.

[10] Anton, I., Voicu, Gh., Gyulai, F., Albu, C. *Concepția grupului aerogenerator de 1000 kW — obiectiv tehnic de vîrf în energetica surselor neconvenționale.* În: Energetica, 33, 1985, nr. 5, p. 194—201.

[11] Popescu, C., Marin, Șt., Turcu, I., Lauric, M. *Heliostate experimentale pentru centrala solaroelectrică.* În: Energetica, 33, 1985, nr. 5, p. 201—207.

[12] Popescu, C., Potlog, D. M. *Determinarea pierderilor de putere datorate abaterilor sistemice de poziționare a heliostatelor la o centrală solaroelectrică cu turn.* În: Energetica, 33, 1985, nr. 5, p. 207—210.

[13] Savulian, R., Țânțăreanu, Cr. *Orientarea automată a heliostatelor la o centrală solară cu turn.* În: Energetica, 33, 1985, nr. 5, p. 210—213.

[14] Moraru, D., Stoian, M., Teodorescu, V., Drăgan, M., Colfescu, M. B. *Aspecte privind proiectarea primei centrale solare termice montane din România.* În: Energetica, 33, 1985, nr. 5, p. 214—216.

[15] Iulian, C., Lazăr, P. D. *Considerații privind implementarea hidrocentralelor marine pe digurile de larg ale porturilor românești.* În: Energetica, 33, 1985, nr. 5, p. 220—225.

[16] Stoenescu, V., Butnaru, E. *Recuperarea căldurii de joasă temperatură cu grupuri turbogeneratoare cu fluide organice.* În: Energetica, 33, nr. 5, p. 226—229.

[17] Hobeanu, Gh., Popescu, C. *Criterii pentru alegerea agenților de lucru la instalații de turbine de joasă temperatură.* În: Energetica, 33, 1985, nr. 5, p. 230—236.

[18] Oprișiu, N., Canciu, L. *Alegerea coordonată a echipamentului electric din serviciile proprii ale centralelor electrice (CTE, CET, CNE).* În: Energetica, 33, 1985, nr. 9, p. 392—394.

[19] Sfichi, R. *Aspecte privind inventarierea și valorificarea potențialului energetic eolian din podișul Sucevei.* În: Energetica, 33, 1985, nr. 9, p. 411—415.

[20] Voicu, Gh., Tudor, M., Țânțăreanu, Cr., Voicu, Al. *Valorificarea la nivel industrial a energiei vîntului în regiunea ponto-danubiană.* În: Energetica, 35, 1987, nr. 1, p. 1—7.

[21] Țânțăreanu, Cr., Voicu, Gh. *O trecere în revistă a problemelor specifice centralelor aeroelectrice conectate la Sistemul Energetic Național.* În: Energetica, 35, 1987, nr. 1, p. 7—11.

[22] Popescu, C. *Cercetări pentru perfecționarea soluțiilor energetice ale centralelor solaroelectrice cu heliostate și turn.* În: Energetica, 35, 1987, nr. 1, p. 16—19.

[23] Vărzaru, V. *Sisteme de orientare automată a concentratoarelor pentru centrale solaroelectrice.* În: Energetica, 35, 1987, nr. 1, p. 24 — 30.

[24] Hobeanu, Gh., Popescu, C., Stoenescu, V., Butnaru, E. *Instalații de turbine termice cu fluide organice.* În: Energetica, 35, 1987, nr. 1, p. 42—45.

[25] Mihăilă, Al., Popescu, C., Butnaru, E. *Cercetări pentru elaborarea soluțiilor de utilizare a sistemelor (mari) de acumulare a căldurii în diverse aplicații.* În: Energetica, 35, 1987, nr. 1, p. 37—42.

[26] * * * *Lucrările Conferinței Naționale de Energetică* București, 27—29.11.1986, Secția 13, Energii regenerabile.

[27] Fara, V., Grigorescu, R. *Conversia energiei solare în energie termică.* Editura științifică și enciclopedică, București, 1982.

[28] Brînzaru, L., Săvulescu, C., Manea, D., Andreev, C., Miutu, N. *La part des sources d'énergies renouvenables dans le bilan énergetique roumain — Résultats et prévisions,* CE—ONU, Simposion, Franța, 29 iunie — 3 iulie 1987.

[29] Marinescu, G. *Les limites d'efficacité du matériel utilisé pour exploiter les sources d'énergie nouvelles et renouvenables,* CE—ONU, Simposion, Franța, 29 iunie —3 iulie 1987.

[30] Roșca, L. E., Popescu, C. *Evaluation de l'efficacité de la conversion thermodynamique de l'énergie solaire en énergie électrique. CE—ONU,* Simposion, Franța, 29 iunie — 3 iulie 1987.

[31] Popescu, Cr. *Dispositifs solaires photoélectriques construits en Roumanie.* CE—ONU, Simposion, Franța, 29 iunie — 3 iulie, 1987.

[32] Roșca, L. E., Voicu, G., Țânțăreanu, Cr. *Perspectives et développement de l'utilisation industrielle de l'énergie éolienne en Roumanie.* CE—ONU, Simposion, Franța, 29 iunie — 3 iulie, 1987.

[33] Zaharia, A., Ionescu, C., Stamo, V. *Evolution de la production de biogaz et utilisation de biogaz comme source d'énergie dans les exploitations d'élevage de type industriel en Roumanie.* CE—ONU Simposion, Franța, 29 iunie — 3 iulie, 1987.

[34] Muscă, G., Giurcă, R., Bragarea, S., Macovei, F., Chirvase, A. A. *Conversion biotechnologique de la biomasse en combustible gazeux et liquide.* CE—ONU, Simposion, Franța, 29 iunie — 3 ilulie, 1987.

[35] Pop, M., Macoveanu, D., Marinescu, G., Moraru, D. *Evolution économique des méthodes et des techniques d'utilisation accrue de l'énergie solaire pour produire de la chaleur.* CE—ONU, Simposion, Franța, 29 iunie — 3 iulie 1987.

[36] * * * *Lucrările colocviului asupra situației și perspectivelor surselor de energie noi și regenerabile în regiunea CEE—ONU* Sophia Antipolis, Franța, 29 iunie — 3 iulie 1987.

(Primit la 9 noiembrie 1987, acceptat la 9 decembrie 1987)

Dezvoltarea fabricației de turbine cu abur pentru recuperarea resurselor energetice refolosibile din industrie

Ing. Mircea Cârdu*

Descriptori : turbine cu abur, recuperare, resurse energetice refolosibile

Introducere

În perioada ultimilor 20 de ani, de cînd a început să se manifeste fenomenele crizei energetice mondiale, au fost efectuate foarte multe studii privitoare la aplicarea industrială a unor noi surse de energie (neconvenționale) și la alte căi posibile de producere a energiei decît prin consumarea de combustibili clasici. O bună parte din aceste studii au condus la concluzia că se pot obține mari economii de combustibili prin recuperarea resurselor energetice refolosibile din industrie.

Dat fiind ritmul foarte ridicat de dezvoltare a industriei, în România această problemă a stat în permanență în atenția energeticienilor în cadrul acțiunii de utilizare și producere rațională a energiei și de reducere a consumului de hidrocarburi.

În funcție de volumul resurselor energetice refolosibile disponibile în diverse ramuri ale industriei, au fost avute în vedere în primul rînd următoarele căi de utilizare a acestor resurse, pentru producerea de energie electrică, termică sau mecanică :

1. Utilizarea aburului produs cu ajutorul gazelor combustibile rezultate din procesele tehnologice din industria siderurgică (gaz de furnal, gaz de cocs).
2. Utilizarea aburului produs în procesele exotermice sau cu ajutorul gazelor combustibile rezultate din procesele tehnologice din industria chimică.
3. Utilizarea aburului produs în procesele de răcire a unor utilaje, în special cuptoare tehnologice, din diverse industrii.
4. Înlocuirea cu instalații de turbine cu abur a stațiilor de reducere-răcire care se folosesc pentru producerea aburului tehnologic în diverse industrii.

În legătură cu cele de mai sus, a fost dezvoltată și fabricația de turbine cu abur cu caracteristici corespunzătoare.

În cele ce urmează se dau caracteristicile acestor turbine, scopul în care sînt utilizate, precum și economiile de combustibil care se obțin prin utilizarea lor pentru producerea de energie electrică sau mecanică, respectiv pentru termoficare.

* Ing. Mircea Cârdu — Institutul de Cercetare Științifică și Inginerie Tehnologică pentru Echipamente Energetice — București.

1. Turbine cu abur produs din gaze combustibile din industria siderurgică

În procesele tehnologice din industria siderurgică, în special în cele de la furnale și cele de fabricare a cocsului, se produc cantități însemnate de gaze combustibile. Acestea sînt utilizate pentru producerea de abur cu parametri medii (40 kgf/cm^2; 450°C). Acest abur este, la rîndul lui, utilizat la turbine cu abur care antrenează fie generatoare electrice, fie turbomașini necesare chiar proceselor respective.

În tabelul 1 se dau tipurile acestor turbine, cu principalele lor caracteristici tehnice și economice [2, 5]. Se indică, de asemenea, mașinile antrenate de acestea, numărul de astfel de turbine realizate pînă în prezent, numărul total de turbine estimat ca necesar, precum și economiile de combustibil (exprimate în tone combustibil convențional — t c.c. pe an), rezultate prin utilizarea acestor turbine. Economiile de combustibil au fost estimate considerîndu-se o durată de funcționare medie de 7 000 ore pe an, un consum mediu de combustibil convențional de 345 g/kWh, care se realizează, în general, la instalațiile de turbine cu abur energetice de mare putere și un factor mediu de încărcare în raport cu puterea nominală de 0,8.

Din tabelul 1 rezultă că economiile anuale de combustibil datorate utilizării turbinelor existente sînt de 336168 t c.c., iar dacă ne referim la toate turbinele care sînt necesare pentru industria siderurgică, aceste economii sînt de 421949 t c.c.

2. Turbine cu abur produs în procesele tehnologice din industria chimică

În industria chimică, în multe cazuri se întîlnesc procese tehnologice exotermice. Căldura rezultată din aceste procese poate fi utilizată pentru producerea de abur, care la rîndul lui se folosește în turbine care antrenează turbomașini necesare însești proceselor tehnologice respective. De asemenea, din anumite procese tehnologice rezultă gaze combustibile care pot fi utilizate pentru producerea aburului. În acest fel se pot realiza reduceri importante ale consumurilor specifice de energie pentru producerea unor substanțe chimice, lucru foarte important mai ales în cazul unor procese chimice energointensive.

Tabelul 1

Principalele caracteristici ale turbinelor cu abur produs din gaze combustibile din industria siderurgică

Caracteristici tehnice și economice	UM	Tipul turbinei				
		AKS 1,2	AC 12	ASL 12	ACS 12	ACS 30
Puterea	MW	1,2	12	12	12	30
Turația	rot/min	3400–3900	3000	3000	2500–3400	2500–3360
Presiunea aburului viu	kg/cm²	35	35	35	35	35
Temperatura aburului viu	°C	435	435	435	435	435
Presiunea la prize I	kg/cm²	—	—	$10 \pm \frac{3}{2}$	—	—
II	kg/cm²	—	—	1,2–2,5	—	—
Presiunea la evacuare	kg/cm²	$11 \pm \frac{1}{3}$	0,055	0,05	0,06	0,075
Mașina antrenată	—	suflantă de aer	turbogenerator	turbogenerator	suflantă de aer	suflantă de aer
Turbine necesare — număr	buc.	7	3	5	2	3
— economie de combustibil	tcc/an	16229	69552	115920	46368	173880
Turbine realizate — număr	buc.	5	3	4	2	2
— economie de combustibil	tcc/an	11592	69552	92736	46368	115920

Tabelul 2

Principalele caracteristici ale turbinelor cu abur produs în procesele tehnologice din industria chimică

Caracteristici tehnice și economice	UM	Tipul turbinei				
		ACC 1,9	ACC 2,6	ACC 6,4	ACC 7,8	CKA 12
Puterea	MW	1,9	2,62	6,38	7,8	12
Turația	rot/min	10234	11370	8600	9000	12234
Presiunea aburului viu	kg/cm²	40	40	40	40	102
Temperatura aburului viu	°C	340	340	340	340	460
Presiunea la evacuare	kg/cm²	0,16	0,16	0,16	0,16	41
Mașina antrenată	—	compresor pentru gaz de sinteză	compresor pentru gaz metan	compresor de aer	compresor de amoniac	compresor pentru gaz de sinteză
Turbine necesare — număr	buc.	6	6	6	6	6
— economie de combustibil	tcc/an	22505	30139	74189	90418	139104
Turbine realizate — număr	buc.	3	3	3	3	3
— economie de combustibil	tcc/an	11252	15070	37094	45209	69552

Tabelul 3

Principalele caracteristici ale turbinelor cu abur utilizate în instalații de recuperare a căldurii din industria petrochimică

Caracteristici tehnice și economice	UM	Tipul turbinei	
		ACS 5	AKRC 1,6
Puterea	MW	5	1,6
Turația	rot/min	7160	12415
Presiunea aburului viu	kg/cm²	35	35
Temperatura aburului viu	°C	310	310
Presiunea la evacuare	kg/cm²	0,16	4,9
Mașina antrenată	—	suflantă de aer	compresor de hidrogen
Turbine necesare — număr	buc.	3	3
economie de combustibil	tcc/an	28980	9273
Turbine realizate — număr	buc.	3	3
— economie de combustibil	tcc/an	28980	9273

Un exemplu în acest sens îl reprezintă tehnologia Kellog de producere a amoniacului, în care, printr-o organizare rațională a fluxurilor termice din instalație se obțin economii importante de energie. Turbinele din instalațiile de amoniac tip Kellog din țara noastră au fost realizate în colaborare cu întreprinderea Gütehoffnungshütte (GHH) din R. F. Germania. Caracteristicile lor sînt date în tabelul 2 [2, 5].

Din tabelul 2 rezultă că economiile anuale de combustibil datorate utilizării turbinelor existente sînt de 178177 t c.c., iar dacă ne referim la toate turbinele care sînt necesare pentru industria chimică, aceste economii sînt de 356355 t c.c.

În tabelul 3 se dau caracteristicile tehnice și economice ale turbinelor ACS 5 și AKRC 1,6 utilizate în instalații de recuperare a căldurii din industria petrochimică. Aceste turbine au fost realizate în colaborare cu întreprinderea GHH din R.F.G.

Din tabelul 3 rezultă că economiile anuale de combustibil datorate utilizării turbinelor existente, egale la număr cu cele necesare, sînt de 38253 t c.c.

3. Turbine cu abur produs în procese de răcire a unor utilaje din diverse industrii

În procesele de răcire a unor cuptoare utilizate în procesele tehnologice se produce abur cu parametri scăzuți (circa 13 kg/cm²) care se poate utiliza în turbine destinate antrenării de generatoare electrice și prevăzute cu prize reglabile pentru termoficare. Astfel, pentru industria sticlei a fost realizat proiectul turbinei SL 2, iar pentru industria metalurgică au fost realizate proiectele turbinelor SL 6 și SL 25. Caracteristicile acestor turbine [1, 2, 3, 5] sînt date în tabelul 4.

Economiile anuale de combustibil care rezultă pentru turbinele SL 2, SL 6 și SL 25 necesare, prevăzute în tabelul 4, sînt de 241500 t c.c.

4. Turbine cu abur pentru înlocuirea stațiilor de reducere-răcire

În perioada înainte de declanșare a crizei energetice mondiale, în multe cazuri a rezultat ca economică satisfacerea necesităților de abur pentru procese tehnologice în diverse industrii, prin instalarea unor cazane cu parametrii aburului mai ridicați și livrarea aburului necesar prin stații de reducere-răcire.

În situația actuală a devenit economică instalarea unor turbine cu abur care să preia rolul stațiilor de reducere-răcire și care să producă totodată energie electrică sau mecanică (pentru pompe, ventilatoare etc.) prin recuperarea energiei aburului destins de la presiunea la care este produs în cazan pînă la presiunea de utilizare.

Pentru instalații cu debit de abur redus a fost proiectată o serie de 12 tipodimensiuni de turbine cu puteri între 20 kW și 800 kW, dintre care cea mai reprezentativă este turbina AKP 0,2, cerută în număr mare pentru instalații din industria prelucrării lemnului [4]. Ea antrenează (prin intermediul unui reductor de turație) fie un generator, fie o pompă.

Pentru instalații cu debite de abur mari și parametrii ridicați ai aburului este în curs de proiectare turbina DKA 9, destinată antrenării de generatoare electrice [5].

Principalele caracteristici ale acestor două tipuri de turbine sînt date în tabelul 5.

Din tabelul 5 rezultă că economiile de combustibil corespunzătoare turbinelor AKP 0,2 realizate pînă în prezent sînt de 1545 t c.c., iar economiile corespunzătoare tuturor turbinelor AKP 0,2 și DKA 9 necesare sînt de 158114 t c.c.

Tabelul 4

Principalele caracteristici ale turbinelor cu abur produs în procese de răcire a unor utilaje din diverse industrii

Caracteristici tehnice și economice		UM	Tipul turbinei		
			SL2	SL 6	SL 25
Puterea		MW	2	6	25
Turația		rot./min	3000	3000	3000
Presiunea aburului viu		kg/cm²	13	13	13
Temperatura aburului viu		°C	330	190	saturat
Presiunea la priza reglată		kg/cm²	1,2–2,4	1,2–2,5	0,7–2,5
Presiunea la evacuare		kg/cm²	0,081	0,09	0,087
Turbine necesare	— număr	buc.	2	3	5
	— economie de combustibil	tcc/an	7728	34776	241500
Turbine realizate	— număr	buc.	—	1*	1*
	— economie de combustibil	tcc/an	—	—	—

* În curs de realizare

Tabelul 5

Caracteristicile unor turbine cu abur (AKP 0,2 şi DKA 9) utilizate pentru înlocuirea staţiilor de reducere-răcire

Caracteristici tehnice şi economice		UM	Tipul turbinei	
			AKP 0,2	DKA 9
Puterea		MW	0,2	9,64
Turaţia		rot./min	8372/3000	3000
Presiunea aburului viu		kg/cm²	16	130
Temperatura aburului viu		°C	300	535
Presiunea la evacuare		kg/cm²	2—4	35
Turbine necesare	— număr	buc.	120	6
	— economie de combustibil	tcc/an	46368	111747
Turbine realizate	— număr	buc.	4	—
	— economie de combustibil	tcc/an	1545	—

Concluzii

Pentru instalaţiile de recuperare a resurselor energetice din industrie, în ţara noastră au fost realizate, sau sînt în curs de proiectare sau fabricaţie, 12 tipodimensiuni de turbine cu puteri între 20 kW şi 800 kW şi 16 tipodimensiuni cu puteri între 1,2 MW şi 30 MW. Aceste turbine antrenează fie generatoare electrice, fie compresoare, suflante sau pompe şi se utilizează în industria metalurgică, industria chimică, industria prelucrării lemnului sau industria materialelor de construcţii.

Economiile totale de combustibil calculate pentru turbinele existente în prezent în exploatare sînt de 554143 t c.c., iar economiile estimate pentru întregul necesar de astfel de turbine sînt de circa 1216171 t c.c.

Bibliografie

[1] Popovici, T., Ailincăi, T., Novinschi, V. *Schemă tehnologică de înaltă eficienţă economică pentru valorificarea superioară a resurselor energetice secundare din industria siderurgică.* Seminarul asupra producerii cumulate de energie electrică şi căldură, Hamburg, 6—9 nov. 1978.

[2] Cârdu, M. *De la 3 MW la 700 MW (scurt istoric al fabricaţiei turbinelor cu abur în România).* În : Construcţia de maşini, 35 (1983), nr. 1.

[3] Cârdu, M. *Caracteristicile unor turbine cu abur reprezentative construite în România.* În : Energetica, 32, 1984, nr. 7, p. 295—301.

[4] Cârdu, M. *Noi realizări în activitatea de cercetare ştiinţifică şi inginerie tehnologică pentru echipamente termoenergetice.* În : Energetica, 34, 1986, nr. 7, p. 289—296.

[5] Brădăţeanu, V., Cârdu, M. *Realizări şi perspective în concepţia şi construcţia de turboagregate.* În : Construcţia de maşini, 39, (1987), nr. 5.

(Primit la 30 octombrie 1987, acceptat la 19 decembrie 1987)

Din energetica mondială

NOU TIP DE MOARĂ CU BILE, ECHILIBRATĂ PENTRU MĂCINAREA FINĂ A MATERIALELOR

În scopul micşorării consumului de energie electrică, un nou tip de moară cu bile pentru materii prime, semifabricate, cărbune, nisip şi alte materiale prin metoda uscată şi umedă, a fost proiectat şi construit de Institutul de proiectări pentru industria cimentului din U.R.S.S. Moara este dotată cu patru tambure în loc de unul, amplasate periferic faţă de axul central, în care se încarcă materialul. Consumul de energie electrică se reduce cu 40—45%, morile lucrează în condiţii mult îmbunătăţite, degajările de căldură scad de 2—3 ori. Motorul electric nu mai este suprasolicitat la pornire şi deci durata de viaţă a acestuia creşte simţitor.

Iată caracteristicile noii mori, cu dimensiunile de 1,5 × 9,27 m faţă de cele ale morii cu un baraban (la numărător):

— volumul de lucru, m³ 30,2/62;
— viteza de rotaţie, rot/min 21/18,8;
— masa pieselor de măcinare, t 32/56
— productivitatea, în cazul măcinării unor fosfoconcentrate, t/h 11/30;
— resturi pe sită, % . . . . . 10/3—6;
— puterea motorului electric, kW 500/500;
— consumul specific de energie electrică, kWh/t 31/15;
— temperatura materialului măcinat, °C . 104/40—50.

Dimensiunile morii sînt diferite funcţie de capacitatea necesară, materialul măcinat, mărimea particulelor etc. Ele pot fi utilizate atît la obiectivele noi, cît şi la cele vechi, utilizînd fundaţiile existente.

Descrierea şi schemele de principiu ale noii mori sînt redate în nr. 7/1987 al revistei sovietice „Promîşlennaia energhetika" într-un articol semnat de ing. Kaminski Ad.

Unele probleme energetice principale ale construcției centralelor nuclearoelectrice. Schemele electrice de înaltă tensiune utilizate. Situația pe plan mondial

Ing. Paul Emil Rașcu*

Descriptori : centrale nuclearoelectrice, stații electrice de înaltă tensiune

1. Problemele energetice de bază ale construcției centralelor nuclearoelectrice

1.1. Considerații generale

În evoluția construcției centralelor nuclearoelectrice, după o primă perioadă, care a durat pînă prin anii '70, de realizări în diverse țări a unor „programe de demonstrare" ce urmau să confirme, pentru diferiți furnizori, posibilitățile acestora de execuție, în filiera reactoarelor adoptate, a unor centrale bine puse la punct și capabile de funcționare industrială (de exemplu în R.F.G. centralele Gundremmingen A, Lingen și Obrigheim bloc A au făcut parte din programul de demonstrare, care ulterior, după confirmarea scopului propus, au și fost oprite [1]), a urmat pînă prin anii 1974—1975 un mare avînt în realizarea unor astfel de instalații în multe țări din lume.

În perioada anilor 1977—1983, datorită unei mari instabilități în costul combustibililor convenționali, rezultat fie ca urmare a unor manevre comerciale artificiale, fie datorită punerii în valoare a unor noi zăcăminte de combustibili fosili, ritmul de construcție a centralelor nuclearoelectrice în lume a scăzut, ajungîndu-se, în unele țări, la o stagnare sau la anularea unor comenzi date și chiar la abandonarea unor construcții de centrale nucleare începute (de exemplu cazul centralei nucleare Tullnerfeld echipată cu un reactor în filiera BWR de 723 MWe din Austria).

Din anul 1984 se resimte pe plan mondial un nou avînt în construirea de centrale nuclearoelectrice, bazat în mare parte, atît pe buna experiență de exploatare a celor 3800 reactoare × × ani de care se dispune, pe creșterea factorului mediu de utilizare a puterii agregatelor din centralele nucleare, care se situează în prezent la valori de circa 80%, cît și pe economicitatea acestor centrale în comparație cu centralele termoelectrice pe combustibili clasici, în special în unele zone geografice.

În acest context, din totalul puterii instalate în centralele electrice în lume, puterea instalată în centralele nucleare era, la finele anului 1984 de 11,4%, iar la finele anului 1985 de 14%, urmînd a ajunge în anul 1990 la circa 18%. În ceea ce privește producția de energie electrică din surse nucleare la finele anului 1984 se prezenta ca în tabelul 1 [2].

Opțiunea pentru centralele nuclearoelectrice a fost favorizată de două avantaje față de centralele termoelectrice pe combustibili fosili, și anume :

— lipsa poluării mediului înconjurător cu gaze, praf de cărbune și cenușă ;

— faptul că amplasarea centralelor nuclearoelectrice nu depinde de distanța pînă la sursa de combustibil și nici pînă la locul de depozitare a deșeurilor rezultate în exploatare, transportul acestora fiind practic nesemnificativ față de importanța acestor factori în cazul amplasării centralelor termoelectrice clasice cu cărbune.

Tabelul 1

Energie electrică produsă în centralele nuclearoelectrice în anul 1984

[în % din energia electrică totală produsă]

Franța	58,7 (în 1987 chiar 75%)
Belgia	50,8
Finlanda	41,1
Suedia	40,6
Elveția	35,5
R. P. Bulgaria	28,6
R.F.G.	23,2
Japonia	22,9
R. P. Ungară	22,2
Spania	19,3
Anglia	17,3
S.U.A.	13,5
Canada	11,6
R.D.G.	11,0
Argentina	10,0

Astfel, în Franța, care în prezent este țara cu un program nuclear dintre cele mai dezvoltate, se apreciază că factorii esențiali, în ordinea importanței lor, la alegerea amplasamentului unei centrale nuclearoelectrice, sînt :

— apropierea de consumatori ;

— riscurile seismice, industriale și aviatice ;

— asigurarea necesarului de apă de răcire.

Dacă pentru primii factori menționați există, de regulă, mai multe posibilități de soluționare acceptabilă, problema apei de răcire este

* Ing. Paul Emil Rașcu — Institutul de Studii și Proiectări Energetice — București.

mai dificil de rezolvat la centralele nuclearoelectrice decît la termocentralele clasice, deoarece, utilizîndu-se în general aburi la temperaturi inferioare, cantităţile de apă de răcire necesare în primul caz sînt de circa 1,8—2 ori mai mari decît în al doilea caz.

Pentru asigurarea cantităţilor de apă de răcire necesare se au în vedere în prezent scheme hidrotehnice cu circuite de răcire deschise, ale căror instalaţii sînt în general mai ieftine, dar necesită debite de apă mari (de exemplu pentru patru unităţi de 1000 MWe circa 56 m^3/s) sau cu circuite de răcire închise ale căror instalaţii sînt mai costisitoare, dar care necesită debite de apă de răcire mai mici (de exemplu pentru patru unităţi de 1000 MWe circa 16 m^3/s).

Pentru adoptarea soluţiei cu răcire în circuit închis există în prezent două posibilităţi de realizare :

— cu turnuri de răcire cu tiraj natural;

— cu turnuri de răcire cu tiraj forţat.

Dacă ultima soluţie reclamă costuri apreciabile permanente în exploatare şi este în general zgomotoasă, prima soluţie conduce la construcţii deosebit de voluminoase (cu diametrul şi înălţimea depăşind la marile unităţi 150 m), acestea fiind în prezent construcţiile cele mai semnificative (ca volume construite şi durată de execuţie) de pe amplasamentul centralelor nuclearoelectrice (fig. 1).

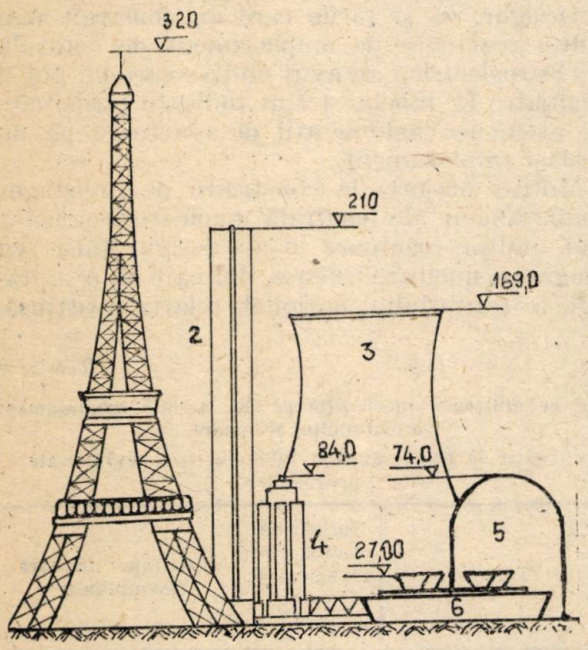


Fig. 1. Dimensiunile construcţiilor actuale : 1 — turnul Eiffel — Paris ; 2 — Montparnasse — Paris ; 3 — turn răcire naturală CNE Dampierre, Franţa ; 4 — hotel Intercontinental Bucureşti ; 5 — clădirea reactorului PWR 1300 MW ; 6 — turn de răcire forţată.

1.2. Puterea şi numărul reactoarelor pe amplasamentul centralelor nuclearoelectrice

Experienţa actuală arată că filiera reactoarelor nucleare nu are intercondiţionări specifice cu amplasamentul centralelor nuclearoelectrice, în unele ţări construindu-se în acelaşi amplasament reactoare în filiere deosebite.

(De exemplu, în Franţa CNE Bugey este echipată cu un reactor în filiera GCR de 540 MWe şi patru reactoare în filiera PWR de 900 MWe, CNE Chinon este echipată cu trei reactoare în filiera GCR şi cu patru reactoare în filiera PWR de 900 MWe, în Japonia CNE Tsuruga este echipată cu un reactor în filiera BWR 340 MWe şi un reactor în filiera PWR de 1115 MWe).

În acelaşi timp, din studiile şi analizele efectuate de diferiţi constructori de centrale nuclearoelectrice este bine cunoscut că economicitatea unor astfel de instalaţii creşte odată cu puterea unitară a grupului. În figura 2 se redă scăderea procentuală a costurilor diferitelor părţi dintr-o centrală nuclearoelectrică odată cu creşterea puterii unitare a grupului [3].

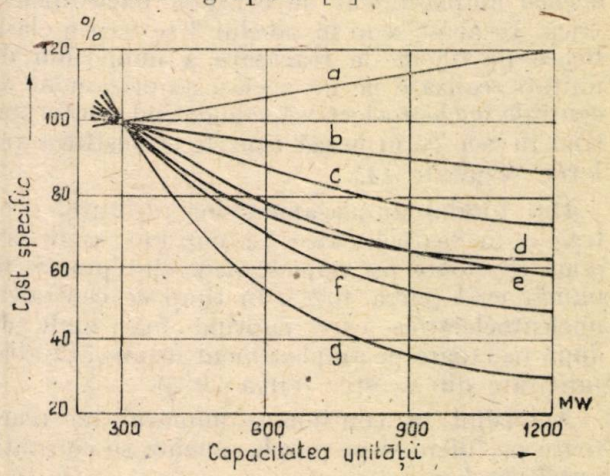


Fig. 2. Reducerea costului specific la diverse părţi ale unităţilor nucleare în funcţie de creşterea capacităţii unitare : a — conducte ; b — schimbător de căldură ; c — echipamente mecanice (turbină) ; d — echipamente electrice ; e — echipamente auxiliare ; f — construcţii ; g — comandă control.

Această tendinţă este confirmată în practică şi de numeroasele centrale nuclearoelectrice echipate cu grupuri cu puterea unitară de 900 MWe sau mai mare. Ponderea acestor centrale în totalul centralelor nucleare în funcţiune la finele anului 1984 este dată în procente pe tipuri de reactoare în tabelul 2.

Tabelul 2

Ponderea centralelor nuclearoelectrice echipate cu unităţi de putere unitară mare în totalul centralelor nucleare în funcţiune în 1984

Puterea unitară a grupului [MWe]	Reactoare de tip	%
$P \geqslant 900$	— HWR	0
	— Magnox, AGR, GCR	0
	— Reactoare de tip PWR (VVER) şi LWGR (RVMK) în U.R.S.S. şi ţările socialiste	20,5
	— BWR	16,0
	— PWR	48,0
$P < 900$	Toate tipurile	15,5

Tabelul 3

Repartiția pe amplasamente a numărului de reactoare pe filiere cu U_{nat} sau slab îmbogățit (situație la finele anului 1986)

Filiera reactoarelor / Amplasamente CNE	HWR		BWR		PWR		PWR + LWGR (U.R.S.S. și țările socialiste)		Magnox, AGR, GCR		Total	
	Nr.	[%]	Nr.	[%]	Nr.	[%]	Nr.	[%]	Nr.	[%]	Nr.	[%]
Amplasament cu un reactor	18	64	34	54	53	45	9	22,5	4	16,6	118	43
Amplasament cu două reactoare	6	21,5	22	35	49	44	11	27,5	15	63,0	103	38
Amplasament cu mai mult de două reactoare	4	14,5	7	11	15	11	20	50,0	5	20,4	51	19
Total	28	100	63	100	117	100	40	100	24	100	272	100

În legătură cu cele de mai sus, se pune problema alegerii numărului de reactoare pe un același amplasament de centrală nuclearoelectrică. În acest scop în tabelul 3 se face o clasificare pe filiere de reactoare a numărului de unități realizate pe un același amplasament de centrală nuclearoelectrică, comentînd și interpretînd în cele ce urmează cauzele ce justifică valorile rezultate [4].

Din totalul amplasamentelor utilizate, centralele nuclearoelectrice ce cuprind unul sau două reactoare pe amplasament sînt practic în număr egal (circa 40%), în timp ce centralele nuclearoelectrice care cuprind mai mult de două reactoare pe amplasament însumează abia jumătate din acestea (circa 20%).

Analizînd în continuare numărul de reactoare pe filiere și pe amplasamente se constată următoarele :

— filiera de reactoare cu apă grea (HWR). Se utilizează mai mult de două reactoare pe amplasament, de patru ori mai puțin decît în cazurile cu un reactor pe amplasament și de 1,5 ori mai puțin decît în cazurile cu două reactoare pe amplasament. Printre țările ce utilizează mai mult de două astfel de reactoare pe amplasament se menționează Canada și R. S. România ;

— filierele de reactoare cu apă în fierbere (BWR) și cu apă sub presiune (PWR). Se utilizează numai în proporție de circa 11% mai mult de două reactoare pe amplasament, în timp ce amplasamentele ce cuprind unul sau două reactoare rezultă practic a fi în proporții egale. Printre țările ce utilizează mai mult de două astfel de reactoare pe amplasament se evidențiază Franța, Suedia și Japonia ;

— reactoarele în filierele specifice U.R.S.S. și din celelalte țări socialiste. Se utilizează în proporție de circa 50% mai mult de două reactoare pe amplasament, în timp ce amplasamentele ce cuprind unul sau două reactoare rezultă practic în proporții egale. Printre țările ce utilizează mai mult de două astfel de reactoare pe amplasament se menționează U.R.S.S., R. P. Bulgaria, R. P. Ungară, R. D. Germană și R. S. Cehoslovacă.

Din realizările concrete pe plan mondial menționate se desprinde o tendință clară de a situa într-un același amplasament de centrală nuclearoelectrică unul sau două reactoare. Dacă în această situație se adaugă observația că, pe baza rezultatelor favorabile obținute, beneficiarii execută de multe ori într-o etapă ulterioară în amplasamentele cu un reactor și a doua unitate similară, se constată o tendință bine conturată spre centralele nuclearoelectrice echipate cu două reactoare pe amplasament.

Desigur, că și țările care au construit mai multe reactoare pe amplasament de centrală nuclearoelectrică au avut motive care nu pot fi neglijate. În tabelul 4 sînt indicate țările care au asemenea aglomerații de reactoare pe un același amplasament.

Motive majore de construire pe un singur amplasament de centrală nuclearoelectrică a mai multor reactoare le au desigur țările cu programe nucleare intense, dar care au o suprafață a teritoriului național relativ restrînsă.

Tabelul 4

Țări ce utilizează construcția pe un același amplasament a mai multor reactoare

(situație la finele anului 1986, inclusiv extinderile prevăzute)

Țara	Număr de reactoare pe un amplasament [buc.]	Centrala nucleară (exemplificare)
R. S. România	5	Cernavodă
R. P. Bulgaria	6	Kozlodui
Franța	6	Gravelines
Japonia	6	Fukushima Daich
U.R.S.S.	6	Novo Voronej
	7	Cernobîl
	8	Berjosovka
Canada	8	Pickering
	8	Bruce
	8	Darlington

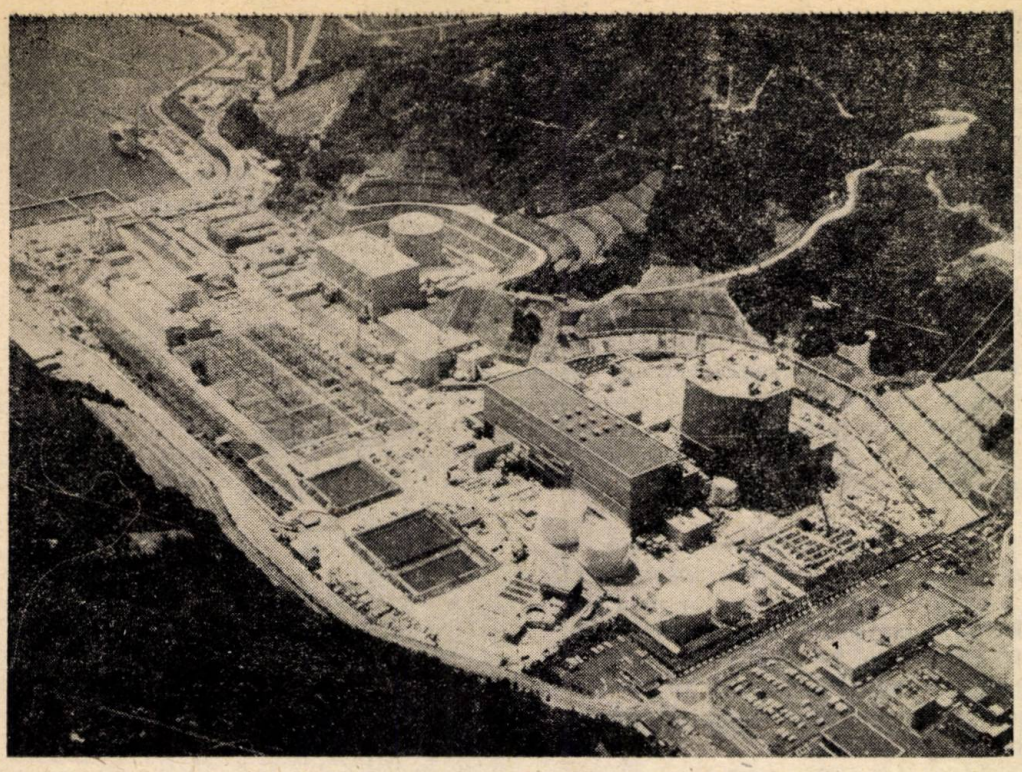


Fig. 3. CNE Tsuruga — Japonia : în planul din spate : reactorul tip BWR MW, p.i.f. 1969 ; în planul din față : reactorul tip PWR 1115 MW, p.i.f. 1988.

Astfel, Franța, care intenționează ca pînă în anul 2000 să instaleze 200 de unități nucleare, fiecare cu o putere medie de 1000 MWe, adoptînd un număr de patru unități pe amplasament, ar avea nevoie de 50 de amplasamente, ceea ce nu este de neluat în seamă la suprafața țării respective. Considerînd că pentru realizarea unei centrale nuclearoelectrice echipată cu patru unități de 1000 MWe, incluzînd și suprafața de teren necesară pentru lucrările de organizare a șantierului, rezultă un necesar de teren pe fiecare amplasament de circa 200 ha pentru cele 50 de amplasamente prevăzute, fiind deci necesare 10 000 ha teren ce trebuie obținut în acest scop în detrimentul altor activități desfășurate pe teritoriul național [5]. Trebuie remarcat că însăși obținerea unei suprafețe de teren de 200 ha pentru un amplasament pune adesea probleme dificile de natură geografică (fig. 3), geologică, ecologică și din punctul de vedere al populației locale, ceea ce conduce la operațiuni de regulă costisitoare (de exemplu mari mișcări de teren, exproprieri și dezafectări de obiective existente, transferuri de populație etc.).

Considerațiile privind alegerea numărului de reactoare pe un amplasament au avut în vedere situațiile specifice, luîndu-se măsurile necesare, cu încrederea că aplicarea soluțiilor tehnice adoptate în filierele de reactoare folosite sînt în prezent bine puse la punct și că ele au fost verificate îndeajuns în exploatare pentru a oferi un mare grad de siguranță. Din păcate această încredere în siguranța funcționării reactoarelor a fost pusă la grea încercare printr-o serie de accidente survenite în diverse centrale nuclearoelectrice (de exemplu Windscale, Browns Ferry, Three Mile Island) și ea a fost puternic zguduită de evenimentele recente de la CNE Cernobîl. Deși ceilalți furnizori de reactoare din lume s-au grăbit să dea asigurări că în filiera reactoarelor dezvoltate de fiecare astfel de accidente nu se pot întîmpla, publicul larg a rămas cu teama că cele mai incredibile evoluții de evenimente sînt totuși posibile.

Apreciind aspectele pozitive reieșite după accidentul de la Cernobîl, și anume obligația internaționalizării imediate a informațiilor în cazuri de acest fel, ca și experiența dobîndită prin intervențiile efectuate în astfel de situații, trebuie subliniat că avaria de la reactorul nr. 4, a determinat, din motive de contaminare nucleară, întreruperea funcționării celorlalte unități de pe amplasament, ceea ce, pentru țări cu posibilități energetice mai reduse decît ale U.R.S.S., ar putea constitui o adevărată catastrofă în balanța de producere/consum a energiei electrice și implicit în dereglarea tuturor sectoarelor de activitate ale economiei naționale și a condițiilor de viață a locuitorilor respectivi.

Se impun și unele precizări în legătură cu numărul par sau impar de reactoare construite într-un același amplasament de centrală nuclearoelectrică.

Din situația centralelor nuclearoelectrice existente în anul 1984, exceptînd centralele nucleare echipate cu un singur reactor, doar un

număr foarte redus de centrale (5,5% din total) este echipat cu reactoare în număr impar (3,5 sau 7). Este foarte dificil de a generaliza o interpretare corectă a acestei situații, numărul mic de astfel de cazuri lăsînd să se întrevadă că în fiecare situație în parte au existat unele considerente specifice imperative.

Există, atît în instalațiile clasice, cît și în cele nucleare, și de fapt în mai toate obiectivele industriale, o anumită preferință pentru adoptarea unei modulări în număr par a instalațiilor, ceea ce permite întotdeauna o simetrizare a legăturilor funcționale de interdependență (înlocuiri, secționări, rezervări etc.), lucru care se complică atunci cînd în instalație apare un număr impar de module, deși și în aceste cazuri situația este rezolvabilă din punct de vedere tehnic.

Echiparea centralelor nuclearoelectrice cu un număr par de unități, pe care o susținem cu convingere, permite o mai ușoară și deci mai rapidă și eficientă orientare a personalului de exploatare în instalație, în special în situațiile ieșite din normal, cînd este unanim recunoscut că timpul, pentru adoptarea intervenției corecte, este întotdeauna prea scurt.

2. Schemele electrice principale ale centralelor nuclearoelectrice

2.1. Probleme generale

Una dintre problemele ce se pun în legătură cu realizarea centralelor nuclearoelectrice este și stabilirea unor eventuale influențe posibile a acestora asupra schemelor electrice principale. Practica actuală, care se bazează pe un număr de circa 300 de centrale nuclearoelectrice executate sau comandate pe plan mondial, pune în evidență însă faptul că filiera reactoarelor folosite nu influențează schema electrică a centralei nuclearoelectrice.

În ceea ce privește schema electrică a stației de racord la sistemul energetic se poate afirma, de asemenea, că nu există factori specifici de influențare a acesteia de către centralele nuclearoelectrice. Singurul aspect ce trebuie avut în vedere este numai în legătură cu puterea unitară, în general mare, a generatoarelor din centralele nuclearoelectrice, cunoscută fiind posibila pierdere a stabilității rețelelor sistemului energetic la șocul dat de ieșirea din funcțiune în caz de avarie, a unor capacități mari, dar acest lucru este valabil pentru orice tip de centrală electrică [6].

În figura 4 se redau domeniile de utilizare optimă a marilor grupuri de diferite puteri unitare, în funcție de capacitatea sistemelor energetice în care funcționează [7, 8, 9].

În legătură cu schema electrică a căii principale de evăcuare a energiei electrice, cu referire specială la alimentarea din sistemul energetic a consumatorilor serviciilor proprii ale centralelor nuclearoelectrice, măsurile ce se prevăd, urmăresc atît mărirea disponibilității acestei alimentări, cît și asigurarea unei puteri de scurtcircuit necesare pe barele serviciilor proprii care să permită pornirea în condiții sigure a marilor consumatori din centrală, reprezentați de regulă de pompele principale pentru apă de răcire.

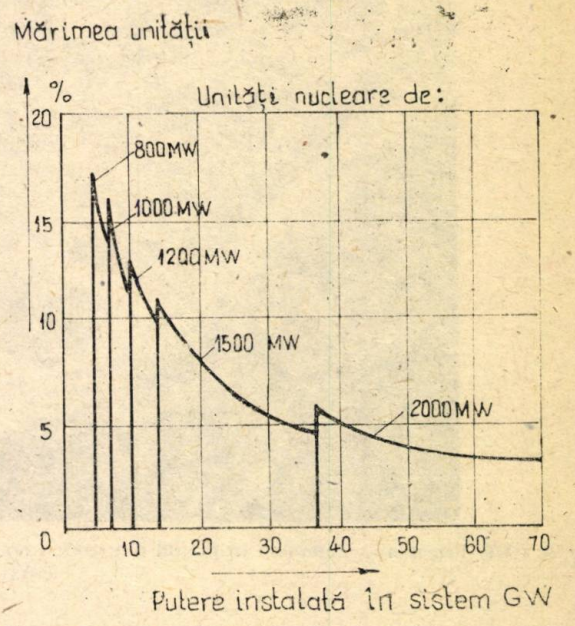


Fig. 4. Raportul optim între mărimea grupului nuclear și puterea instalată în sistemul energetic.

În acest scop se au în vedere două soluții posibile: fie de a asigura rezervarea serviciilor proprii prin transformatoarele de bloc în care caz este necesar a se prevedea întrerupătoare la tensiunea generatorului, fie de a utiliza un transformator separat (de pornire) alimentat din rețelele locale.

2.2. Conexiunile electrice principale ale căii de evacuare a energiei electrice

Calea de evacuare a energiei electrice produse în centralele nuclearoelectrice cuprinde următoarele echipamente principale:

— generatorul electric cuplat cu turbina ce utilizează aburul produs în centrală;

— transformatorul de putere al blocului pentru ridicarea tensiunii în vederea racordării centralei la rețelele sistemului energetic;

— echipamentele electrice necesare pentru a asigura o funcționare optimă a acestora în timpul exploatării.

Inițial s-au utilizat pe un reactor și cîte două sau trei grupuri turbină-generator, alimentate cu abur de la schimbătoarele de căldură în număr egal cu buclele de răcire ale reactorului centralei. Racordarea acestor generatoare s-a efectuat prin întrerupătoare la o bară colectoare la care se leagă direct un singur transformator ridicător, avînd întrerupător numai pe partea de înaltă tensiune.

Pentru a reduce puterea de scurtcircuit la tensiunea generatoarelor, în cazul cuplării mai multor generatoare pe un transformator, s-a utilizat racordarea acestora pe un transformator cu mai multe înfășurări primare, introducîndu-se în felul acesta, reactanțe suplimentare între circuitele fiecărui generator. Deoarece astfel de transformatoare cu mai multe înfășurări de medie tensiune și cu o singură înfășurare de înaltă tensiune sînt de regulă unicate, odată cu creșterea puterii unitare a generatoarelor s-a preferat cuplarea acestora utilizîndu-se schema bloc-generator-transformator, avînd unul sau mai multe întrerupătoare pe partea de înaltă tensiune a transformatoarelor respective.

S-a ajuns astfel într-un timp relativ scurt la necesitatea utilizării unor transformatoare cu puteri din ce în ce mai mari. Astfel de unități de transformare erau, în perioada anilor '70, executate sau montate în rețele în număr mic, astfel încît defectarea unui transformator al blocului nuclear ar fi condus pe o lungă perioadă de timp la indisponibilitatea întregii puteri a reactorului respectiv. În scopul evitării unei astfel de situații, în perioada sus-menționată s-a utilizat frecvent cuplarea la un singur generator de putere mare a două transformatoare de putere egală sau diferită, ceea ce permitea, în cazul avarierii unei unități de transformare, ca centrala nuclearoelectrică să mai poată func-

Schema electrică / Caract. princip						
TARA CNE	Suedia ASEA	RFG. STADE	RFG. BIBLIS A	RFG. BIBLIS B	RFG. BRUNSBÜTTEL	FR. PALUEL
Gen. P_{MVA}/U_{KV}	2×155/12	780/21	1300/27	1530/27	805/27	1650/20
Tr 1 - P_{MVA}/U_{KV}	310/420	380/245	725/420	1000/245	970/420	1150/400
Tr. 2 - P_{MVA}/U_{KV}	—	380/245	725/420	725/420	—	—
ALTE TĂRI ȘI CNE	—	RFG. WUERGASSEN RFG. GUNDREMB. RSR. CERNAVODĂ	—	—	RFG. PHILIPPS B.	FR. CATENON FR. BELLEVILLE FR. ST. ALBAN

Fig. 5. Schemele electrice utilizate pentru calea de evacuare a energiei electrice în CNE.

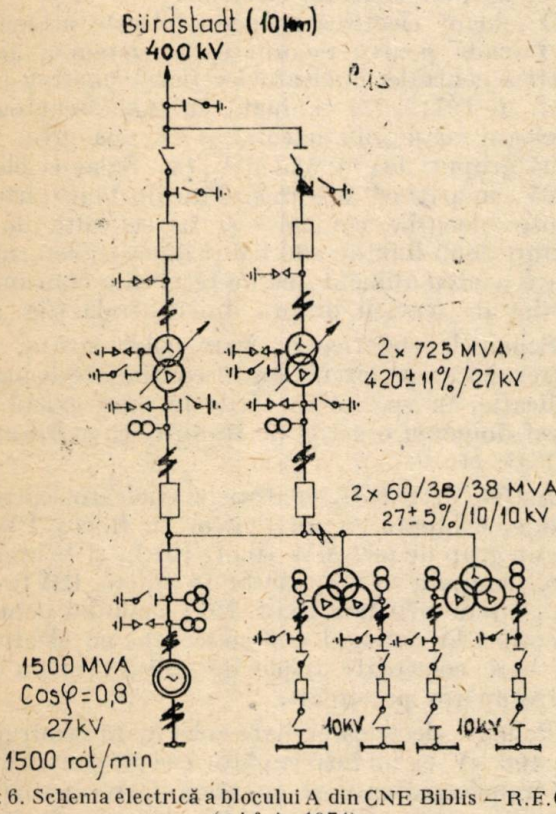


Fig. 6. Schema electrică a blocului A din CNE Biblis — R.F.G. (p.i.f. în 1974).

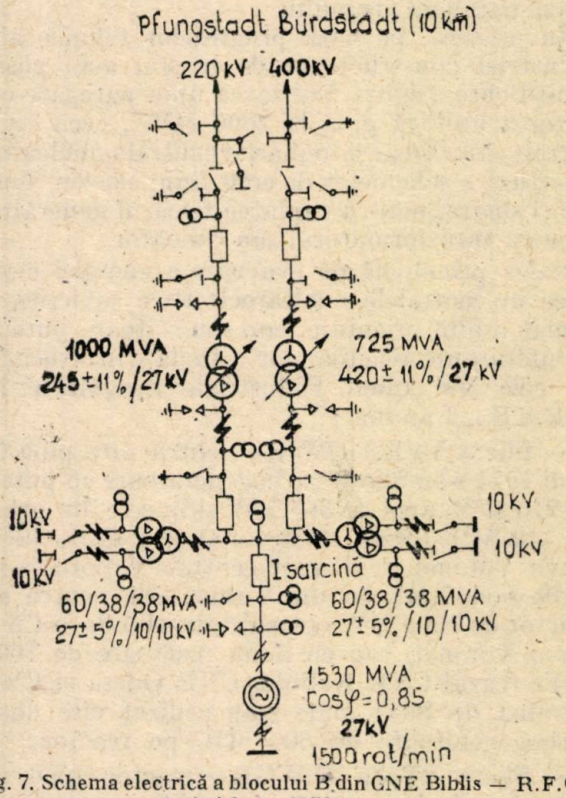


Fig. 7. Schema electrică a blocului B din CNE Biblis — R.F.G. (p.i.f. în 1976).

ţiona cu o putere redusă pînă s-ar fi putut procura de la furnizor sau din rezerva existentă în reţelele electrice, un transformator de bloc similar. Soluţia menţionată era în acelaşi timp favorabilă şi pentru transporturile transformatoarelor, adeseori agabaritice, de la furnizor pînă la centrala respectivă (fig. 5).

Racordarea generatoarelor de putere mare cu cîte două transformatoare în cadrul aceleiaşi centrale nuclearoelectrice se poate face în trei variante, utilizînd la tensiunea generatorului unul, două şi trei întrerupătoare, realizate, fie ca întrerupătoare de putere, fie ca întrerupătoare de sarcină.

Consecinţele adoptării oricăreia din aceste scheme de conexiuni sînt judicios analizate în literatura tehnică de specialitate [10]. Elementele sus-menţionate au stat la baza alegerii conexiunilor blocurilor generator-transformator în cadrul CNE Biblis bloc A (p.i.f. 1974) [11] şi CNE Biblis bloc B (p.i.f. 1976) [12] din R.F.G. (fig. 6 şi fig. 7).

Deoarece pentru unităţile de putere foarte mare este dificil şi costisitor să se utilizeze întrerupătoare la tensiunea generatorului, atît datorită puterii mari de rupere, cît şi curentului nominal care ajunge la cîteva zeci de kiloamperi, la noile centrale nuclearoelectrice din Franţa s-a înlocuit funcţiunea acestui întrerupător prin două întrerupătoare montate în serie la tensiunea superioară a blocului centralei. În acest fel transformatorul de pornire se poate alimenta din sistemul energetic printr-un întrerupător, după care, pe întrerupătorul blocului, se realizează paralelul grupului.

În prezent, pe baza progreselor tehnice ale industriei constructoare de maşini s-au găsit soluţii care asigură realizarea unor agregate cu puterea unitară pînă la 2000 MVA, ceea ce a permis utilizarea, şi în marile centrale nuclearoelectrice, a schemelor de conexiuni clasice, simple şi sigure, pentru cuplarea fiecărui generator bloc cu transformatorul său ridicător.

Calea principală de evacuare a energiei electrice în centralele nuclearoelectrice sovietice a urmat o altă orientare, corespunzătoare puterilor unitare ale reactoarelor asimilate în execuţie pe cele trei filiere industriale dezvoltate în U.R.S.S., şi anume :

— filiera VVER (PWR), pentru care pînă în anul 1974 s-au folosit turbogeneratoare cu puteri de 210 MW, apoi de 365 MW şi în cele din urmă de 440 MW (cazul tranşelor 3 şi 4 de la CNE Novo Voronej şi al unor centrale exportate în ţările socialiste), iar după anul 1980 pentru un reactor de 1000 MWe (cazul tranşei 5 de la CNE Novo Voronej) sau cu două reactoare de 1000 MWe (cazul CNE Kalinin, CNE Odesa şi CNE Ucraina de Sud) unde s-au utilizat cîte două turbogeneratoare de 500 MW pe reactor;

— filiera RVMK (LWGR — reactor răcit cu apă uşoară şi moderat cu grafit) pentru care pînă în anul 1981 erau montate 13 unităţi de reactoare de 1000 MWe, fiecare cuplat cu cîte două turbogeneratoare de cîte 500 MW (cazul CNE Leningrad, Kursk, Smolensk, Cernobîl etc.), iar ulterior cu reactoare de 1500 MWe cuplate cu cîte două turbogeneratoare de 750 MW (cazul CNE Iglinska);

— filiera BN (FBR) pentru care pînă în anul 1973 pentru cîte un reactor de 350 MWe era utilizat un turbogenerator (cazul CNE Sevcenko, CNE M. Caspică) şi ulterior, cu un reactor de 600 MWe cuplat cu trei turbogeneratoare de cîte 200 MW (cazul CNE Beloyarsk) [13].

2.3. Schema electrică a staţiei de racord la sistemul energetic

Rezultînd din puterea unitară mare şi din numărul de regulă redus de grupuri montate într-o centrală nuclearoelectrică, atît căile de evacuare a energiei electrice din centrală, cît şi schemele electrice ale staţiilor de racordare la reţelele sistemului energetic respectiv trebuie să fie cît mai sigure şi pe cît se poate simple şi mai clare. La aceste consideraţii se adaugă, în mod firesc, şi factorul tradiţiei tehnice a ţării beneficiare a centralei nucleare, factor care are un rol important, întrucît cadrele ce se folosesc în exploatarea acestor centrale provin de cele mai multe ori, după o şcolarizare suplimentară, din instalaţiile clasice existente.

Astfel, este bine cunoscută în acest domeniu tradiţia utilizării în Canada a schemelor electrice poligonale de racordare la sistemul energetic a marilor centrale electrice.

O schemă electrică de acest fel este utilizată în Canada pentru racordarea la sistem a unei părţi a centralei nuclearoelectrice Pickering (cu p.i.f. în 1971—78) echipată cu două reactoare nucleare cu uraniu natural şi cu apă grea, cu două grupuri de cîte 540 MW [14]. Schema electrică „în pătrat" are racordate în două vîrfuri opuse blocurile centralei şi în celelalte două vîrfuri două linii de 230 kV şi două transformatoare pentru alimentarea de rezervă a consumatorilor de servicii proprii din centrală (fig. 8).

Schemele electrice cu bare colectoare şi un întrerupător pe circuit au în continuare o mare aplicaţie, în special în ţările în care există în acest domeniu o astfel de tradiţie, ca în Franţa, R.F.G. etc.

Astfel, în R.F.G. centralele nuclearoelectrice Stade, echipată cu un reactor în filiera PWR cu un grup de 662 MW (p.i.f. 1972), şi Würgassen, echipată cu un reactor în filiera BWR cu un grup de 670 MW (p.i.f. 1971), adoptă pentru racordul la sistemul energetic scheme electrice cu bare colectoare triple de 220 kV şi cu un întrerupător pe circuit.

Schema electrică cu bare colectoare cvadruple de 400 kV cu un întrerupător/circuit pentru linii şi transformatoare şi cu două întrerupătoare/circuit pentru grupuri, este utilizată de ase-

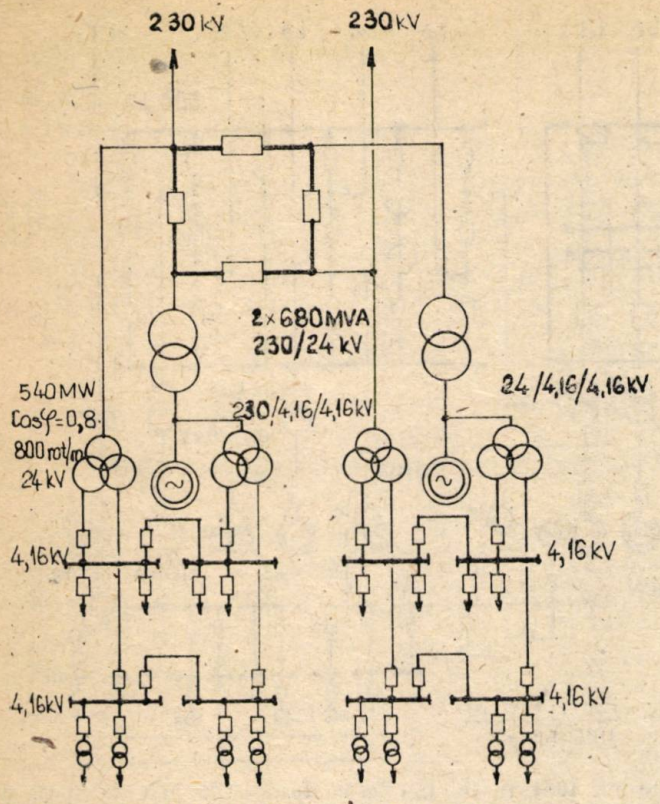


Fig. 8. Schema electrică a CNE Pickering-Canada (două reactoare pe un generator) (p.i.f. în 1971—1973).

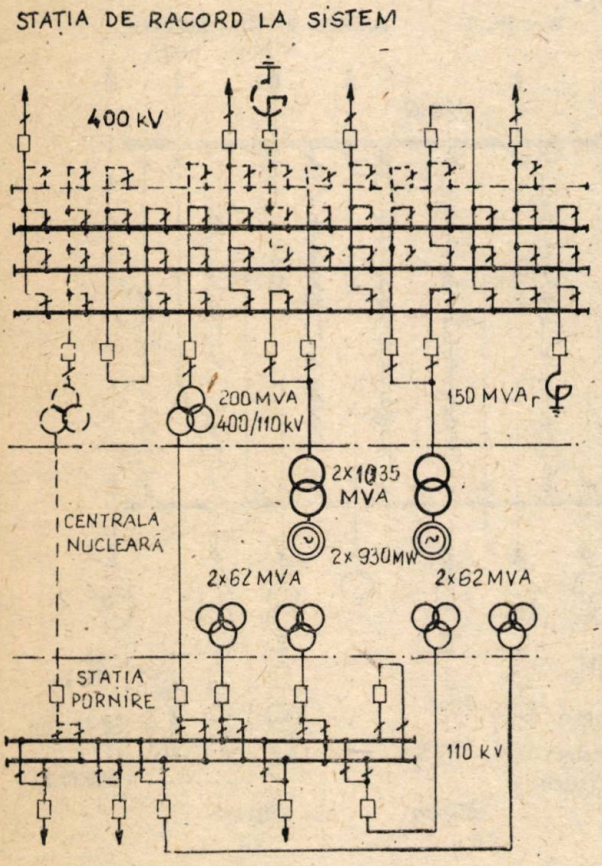


Fig. 9. Schema electrică a stației de racord la sistemul electric a CNE Asco Spania și a stației de pornire.

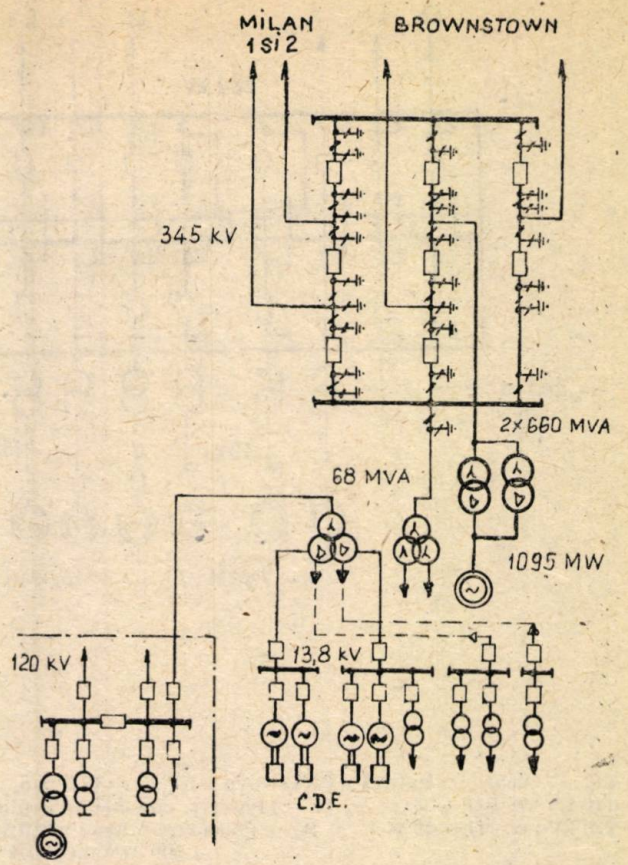


Fig. 10. Schema electrică a stației de racord la sistemul electric a CNE Enrico Fermi II — S.U.A. și a stației de pornire (p.i.f. în 1985).

menea în Spania la centrala nuclearoelectrică Asco, echipată cu două reactoare în filiera PWR și două grupuri de cîte 930 MW (fig. 9) (p.i.f. 1983 și 1985) [15].

Schemele electrice cu bare colectoare duble și cu 1,5 întrerupătoare/circuit sînt tradiționale, atît în S.U.A., cît și în U.R.S.S. Astfel, în S.U.A. centrala nuclearoelectrică Enrico Fermi II este echipată cu un rector în filiera BWR și cu un grup de 1095 MW racordat la tensiunea de 345 kV într-o schemă electrică cu 1,5 întrerupătoare/circuit (fig. 10) (p.i.f. 1985). Scheme de același tip se utilizează în multe centrale nuclearoelectrice din U.R.S.S. la CNE Ravensca, CNE Hmelniţki, CNE Cernobîl, CNE Odesa etc.

O schemă de acest fel este utilizată la extinderea centralei nuclearoelectrice Novo Voronej la ultima tranșă de reactor VVER instalată, cuplată cu grupuri de cîte 500 MW racordate cu 1,5 întrerupătoare/circuit la tensiunea de 500 kV. O derivație din această schemă racordează un autotransformator 500/220 kV, care printr-o bară locală alimentează un transformator 220/6/6 kV destinat să asigure rezerva pentru consumatorii de servicii proprii din centrală nucleară, alimentarea principală făcîndu-se prin transformatoare cuplate la tensiunea generatoarelor (fig. 11) (p.i.f. 1980) [16]. Celelalte gru-

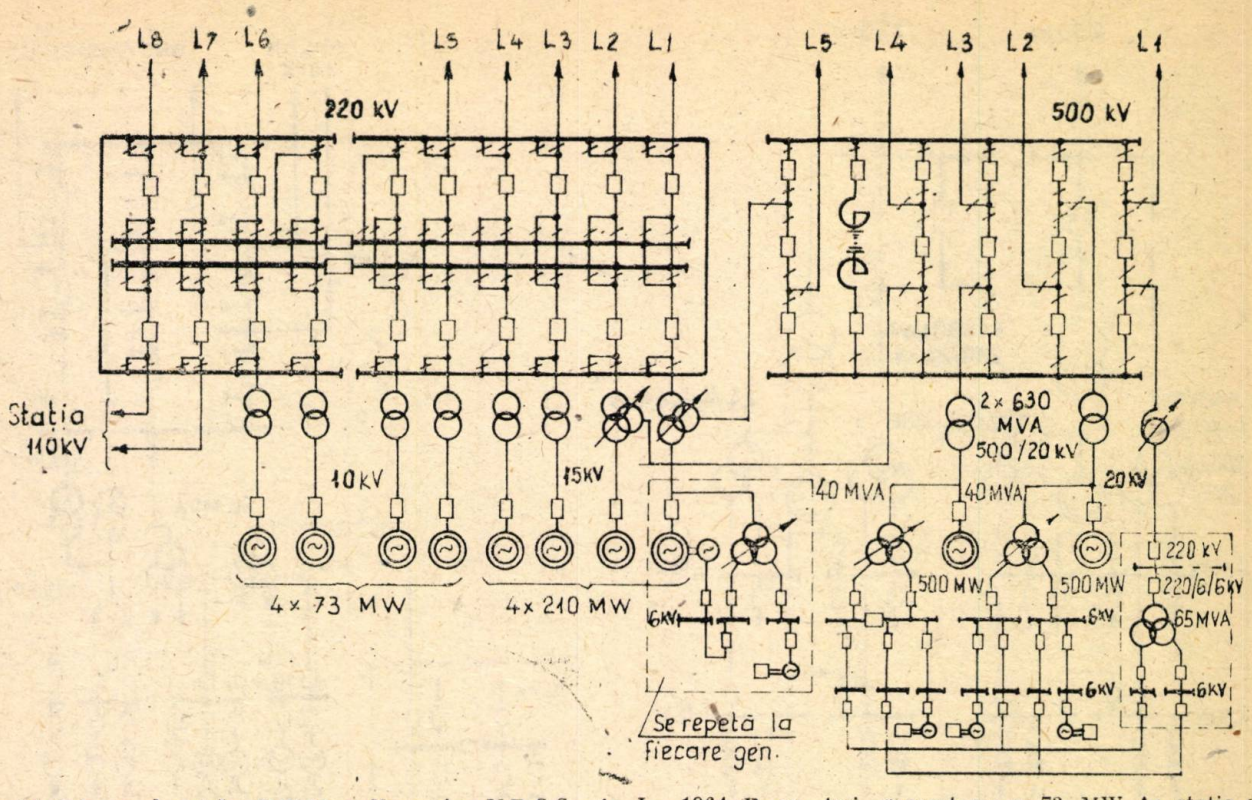


Fig. 11. Schema electrică a CNE Novo Voronej — U.R.S.S. : tr. I — 1964. R_1 cu trei generatoare a 73 MW în stația de 110 kV cu BD + BTf; tr. II — 1969. R_2 cu cinci generatoare a 73 MW unul în stația de 110 kV și patru în stația de 220 kV; tr. III — 1972. R_3 și R_4 cu patru generatoare a 210 MW în stația de 220 kV; tr. IV — 1980. R_5 cu două generatoare a 500 MW la 500 kV; tr. IV — ext. R_6 și R_7.

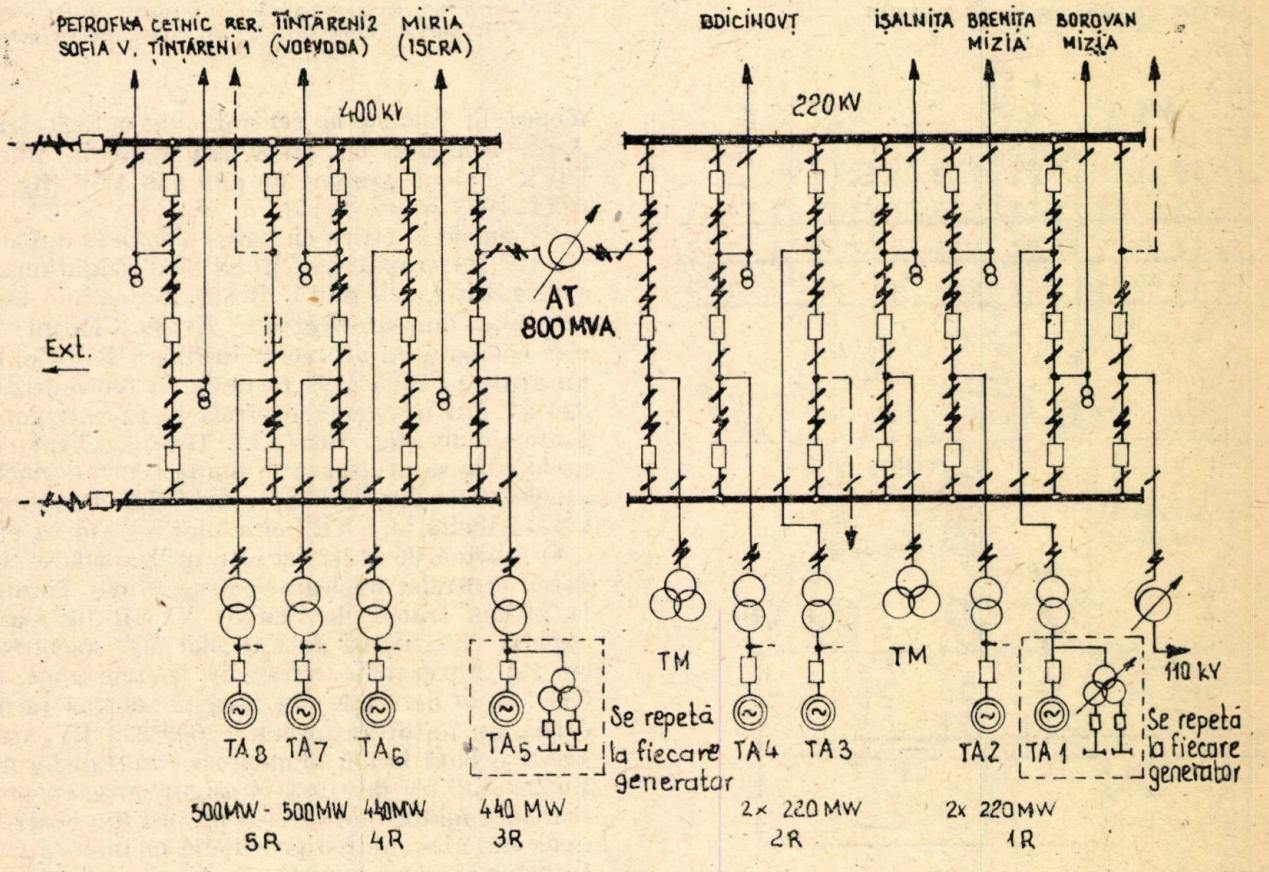


Fig. 12. Schema electrică a CNA Kozlodui — R.P.B, : tr. I p.i.f. în 1974 — 1975, două reactoare cu cîte două generatoare, fiecare cu cîte 220 MW; tr. II p.i.f. în 1982 două reactoare, fiecare cu cîte un generator de 440 MW; tr. III p.i.f. în 1990, al cincilea reactor cuplat cu două generatoare de cîte 500 MW; extindere cu reactorul șase de 963 MW.

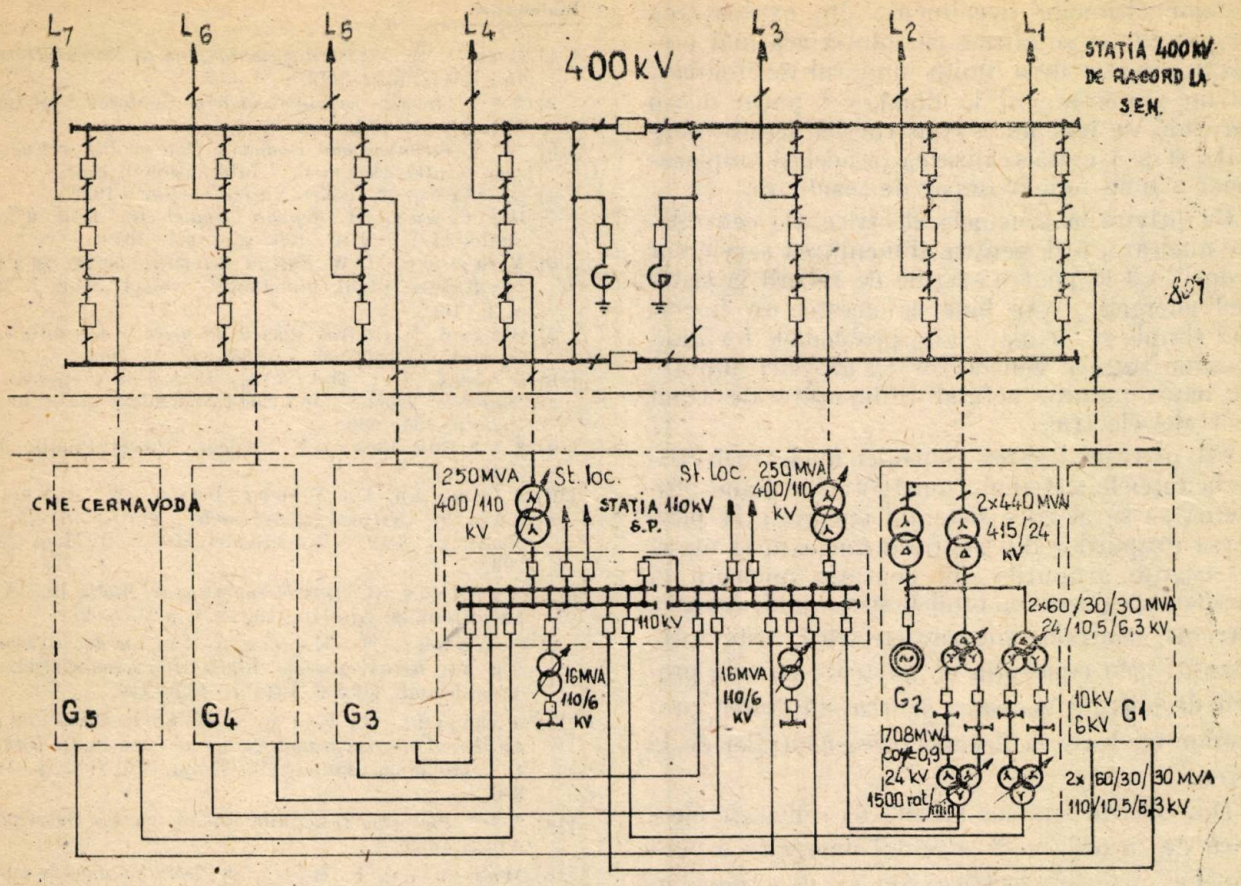


Fig. 13. Schema electrică a stației de racord la sistemul energetic și a stației de alimentare a serviciilor proprii a CNE Cernavodă R.S.R.

puri montate anterior în centrala nuclearoelectrică Novo Voronej se racordează în stații de 220 kV și 110 kV prevăzute cu scheme electrice clasice cu bare colectoare duble și bară de transfer.

O concepție similară a fost adoptată și la alegerea schemei electrice a CNE Kozlodui din R. P. Bulgaria, unde prima tranșă de execuție cuprindea două reactoare în filiera PWR de cîte 440 MWe, fiecare cuplat cu cîte două generatoare de 220 MW ce au fost racordate bloc cu transformatoare la tensiunea de 220 kV într-o stație cu 1,5 întrerupătoare/circuit, iar tranșa a doua de lucrări formată de asemenea din două reactoare similare de cîte 440 MWe, fiecare însă cuplat cu cîte un singur generator, racordate bloc cu transformatoare tot într-o schemă cu 1,5 întrerupătoare/circuit la tensiunea de 400 kV (fig. 12).

Cea de a treia tranșă de lucrări formată tot din două reactoare de 440 MWe, a fost întîrziată în execuție datorită măsurilor ce au trebuit luate între timp în construcția echipamentelor și pe șantier, ca urmare a cutremurului din luna martie 1977 din R.S.R., resimțit puternic și în zona Kozlodui.

În aceste condiții lucrările au fost devansate de tranșa a patra de extindere a centralei care cuprindea montarea celui de al cincilea reactor cu o putere de 1000 MWe, cuplat cu două blocuri generator-transformator de cîte 500 MW, racordate la tensiunea de 400 kV; blocurile de 440 MWe urmau să se lege la rețea ulterior, fiind prevăzută în acest scop amplificarea stației de 400 kV respective [17].

Pe aceeași linie se înscrie și schema electrică de racordare la sistemul energetic al centralei nuclearoelectrice Cernavodă din R.S.R., care însă rupe tradiția schemelor electrice utilizate pînă în prezent și folosește, pentru prima oară în țară, o schemă cu bare colectoare duble de 400 kV și cu 1,5 întrerupătoare/circuit (fig. 13), ambele bare fiind secționate în lung cu cuple cu întrerupătoare.

Considerații finale

Un tur de orizont efectuat în domeniul energetic actual pune în evidență un avînt considerabil în construcția centralelor nuclearoelectrice de mare putere, tendință considerată în prezent printre cele mai acceptabile și care, pentru o mai lungă perioadă de timp, reduce dependența energetică a țărilor de fluctuațiile procurării combustibililor convenționali.

Situația actuală a realizării centralelor nuclearoelectrice pe plan mondial și aprecierea conse-

cinţelor ultimelor evenimente din exploatarea lor permit să se afirme că soluţia cea mai prevăzătoare este de a limita numărul reactoarelor pe un amplasament la două, cel puţin într-o perioadă de început a construcţiei acestor centrale, şi de a evita realizarea în acelaşi amplasament a unui număr impar de reactoare.

Cu privire la schemele electrice ale centralelor nucleare, atît pentru alimentarea serviciilor proprii, cît şi pentru staţiile de racord la sistemul energetic, este bine ca acestea să fie cît mai simple şi cît mai clare, problemele lor fiind comune tuturor centralelor cu grupuri unitare de mare putere, nefiind influenţate de tipul centralei electrice.

Cît priveşte legarea centralei nuclearoelectrice la reţelele sistemului energetic, se pune problema să se asigure sistemul energetic la pierderea grupurilor din centrala nucleară şi nu să se asigure grupurile din centrala nucleară la pierderea legăturii cu reţelele sistemului. Aceasta întrucît centrala nuclearoelectrică este prevăzută, prin concepţia ei, cu toate sursele proprii de energie necesare pentru stăpînirea proceselor nucleare la deconectarea centralei de la reţea.

Din cele de mai sus rezultă că schemele electrice de racordare la sistemul energetic a centralelor nuclearoelectrice nu se deosebesc în principiu de acele ale altor tipuri de centrale electrice de putere similară şi nici nu depind de filiera reactoarelor utilizate. Staţiile de conexiuni sînt considerate elemente ale sistemelor energetice respective şi ele trebuie astfel alcătuite încît să poată oferi o maximă disponibilitate evacuării în sistem a energiei electrice produse.

Bibliografie

[1] Borst, A. *Eigenbedarfsversorgung in Kernkraftwerken* În: KWU, iulie 1972, p. 1–12.

[2] * * * *Energie. Besoins/Espoires.* Conférence Mondiale d'Energie, Franţa, oct. 1986.

[3] * * * *Technical and Economic Date on Power Engineering.* Kraftwerk Union — International, 1981.

[4] Leclerq, J. *L'Ère Nucléaire,* Paris 1986.

[5] Boiteaux, M. *Repport Annuel.* În: Bull. d'Information ATEN nr. 109, sept.-oct. 1974.

[6] Simpson, J. W. *System Reliability for the 70 Years.* În: Electric Light and Power, vol. 47, nr. 7, 1969, p. 1–16.

[7] Raşcu, P. *Centrale nuclearoelectrice în sistemele energetice.* Buc. IDT, vol. I, 1986; vol. II, 1969.

[8] Marko, St., Darula, I. *Schemele electrice ale centralelor atomice.* În: Elektrotechnicky obzor, nr. 11, 1975, p. 683–689.

[9] * * * EdF 1300 MW Nuclear Power Plants, June 1983.

[10] Escmann, R., Michelbach, W. şi Smieskol, R. *Netzanschlussvarianten grosser Kraftwerksblocks.* In: BBC — Nachrichten, Hf. 7, 1977, p. 290–296.

[11] Margrof, G. *Das Kernkraftwerk Biblis.* În: Atom and Strom, 20 yg., Hf. 718, 1974, p. 69 –80.

[12] Frühauf, H., Lepie, G. *Aufbau der Gesamtanlage des Kernkraftwerks Biblis.* În: Atomwirtschaft–Atomtechnik, Hf 8/9, 1974, p. 409–419.

[13] Schmidt, G., Kirmse, B. *Entwicklung und Bau von Kernkraftwerken und Kernheizwerken in der UdSSR.* În: Bauplanug Bautechnik, 37 Jg, Hf 6, 1983, p. 243–250.

[14] * * * *Pickering Generating Station.* Design Description. AECL 1969.

[15] Montaine, P., Riba, J. *Evolution dans la conception de l'equipment secondaire des postes. Applicetion à deux instalations à 400 kV et à 110 kV reliées a une centrale nucleaire.* CIGRE s. 23.04. 8/9 1980.

[16] Filkova, G., Strelnikova, V. *Învăţăminte de bază din construcţia blocului nr. 5 de la CNE Novo-Voronej.* În: Energheticeskoe stroitelstvo, nr. 6/1980, p. 2–5.

[17] Tadjer, O. *Nakoi problemi pri i zgajdaneto ne peti blok 1000 MW b AET Kozlodui.* În: Energhetika, R.P.B. nr. 3, 1986, p. 4–6.

(Primit la 17 noiembrie 1987, acceptat la 7 decembrie 1987)

Din energetica mondială

SISTEME ELECTRICE PENTRU ILUMINATUL GRĂDINILOR

O companie engleză a pus la punct o gamă de dispozitive complementare pentru iluminat şi de accesorii care să fie folosite în aer liber. Prevăzut cu un sistem cu tuburi izolante, iar în unele cazuri funcţionînd prin intermediul unui transformator care garantează o funcţionare sigură la tensiune joasă, aceste dispozitive colorate reprezintă tot timpul anului, atît un ornament, cît şi un mijloc de păstrare a securităţii. Gama de produse include, de asemenea, un întrerupător pentru liniile electrice de energie, precum şi fasunguri şi prize pentru exterior, care sînt etanşate şi rezistente la intemperii. Lanternele care sînt agăţate în copac, reflectoarele prevăzute pentru grădinile alpine, dispozitivele subacvatice pentru piscine, pot fi toate conectate la un întrerupător cu fotocelulă, care le aprinde cînd se înserează şi le întrerupe ziua, întărind securitatea în jurul casei. Comutatorul cu fotocelulă poate fi folosit la încălzirea sau iluminarea continuă a serelor.

(Kopex International Ltd., 189 Bath Road, Slough, Berkshire, England)

Conceptualizarea fiabilității și disponibilității, cu aplicare în energetică

Prof. dr. doc. Vasile I. Nitu *

Descriptori : fiabilitate, energetică

1. Fiabilitatea este un domeniu al cunoașterii umane, care își găsește originea în cele mai vechi timpuri (codul Hammurabi 1750 î.e.n.) și care a debutat în mod exploziv ca știință interdisciplinară în deceniile 5—6 ale secolului nostru.

Fiabilitatea se bazează pe metodologii, principii, concepte și noțiuni proprii.

Preocupările în domeniul fiabilității produselor și sistemelor tehnice au depășit stadiul abordărilor empirice, teoria și experimentul fiind singurele căi capabile să determine un important salt al calității, realizînd astfel condițiile de bază ale competitivității.

Fiabilitatea polarizează aceste probleme, care își găsesc corespondent în activitățile de cercetare, proiectare, în soluții tehnologice, procese de fabricație, exploatare etc.

Baza teoretică a fiabilității este reprezentată de calculul statistic, probabilistic, economic etc., iar baza experimentală — de informații specifice fiecărui domeniu de specialitate, colectate din comportarea în exploatare, din încercări de laborator etc.

În continuare, ne propunem o prezentare sinoptică a fiabilității, care să dea o imagine unitară asupra întregii problematici care o compune.

În acest scop vom prezenta noțiunile, principiile, modelele de calcul, conceptele și sistemele de acțiuni specifice fiabilității, iar în continuare conceptul integrat de disponibilitate.

Fiabilitatea prezintă un caracter dual : ca noțiune și ca domeniu.

Fiabilitatea (ca noțiune) reprezintă aptitudinea unui element sau a unui sistem de a îndeplini o anumită misiune la un moment dat sau într-un interval de timp dat.

Termenul încetățenit în limba română pentru această cerință este cel de siguranță, care își are echivalent în limbile : franceză — fiabilité, spaniolă — fiabilidad, engleză — reliability, rusă — nadiojnosti.

În cazul în care avarierea instalațiilor duce la explozii, incendii, accidente nucleare, se vor defini aceste instalații prin indicatorii de securitate.

Comunitatea de limbă cu franceza și circulația mai mare a termenului francez au impus, în literatura tehnică, termenul de fiabilitate.

Ca domeniu, fiabilitatea este o știință interdisciplinară.

Mentenabilitatea este probabilitatea ca o instalație să fie repusă în funcțiune după o avarie avută, într-un anumit interval de timp, prin acțiuni de mentenanță corespunzătoare. Aspectele combinate de fiabilitate, mentenabilitate și mentenanță, trebuie să asigure disponibilitatea prognozată (capacitatea de producție/unitatea de timp sau o anumită producție într-un anumit interval de timp).

Conținutul fiabilității ca domeniu al științelor tehnice este definit de noțiuni, principii, metode, concepte etc., după cum urmează :

2. Noțiuni

2.1. Asimilate : eveniment aleator, probabilitate, densitate de probabilitate, frecvență, funcție de repartiție, teste de verificare, entropie etc.

2.2. Proprii : element, sistem, fiabilitate — siguranță, funcție de fiabilitate (siguranță), coeficient de siguranță, rezerve, stocuri, asigurare, disponibilitate, indisponibilitate, securitate, daune, diagnoză tehnică, profilaxie tehnică, mentenanță corectivă și preventivă, mentenabilitate, testare, încercări accelerate, uzură, durabilitate, garanții, autorizare (atestare) pentru exploatare etc.

3. Principii

3.1. Fiabilitatea, disponibilitatea, securitatea, mentenabilitatea sînt *cuantificabile*, se asimilează cu *probabilități*, se *prognozează* și se *verifică* în *exploatare* ($0 \leqslant R(t) \leqslant 1$).

3.2. Elementele și sistemele se caracterizează prin aspectul dual : *fiabilitate* și *nonfiabilitate*, variabile în timp $[(R(t) + Q(t)) = 1]$ și care definesc *nivelul entropic* al acestora (elementele și sistemele).

3.3. Realizarea de scheme (instalații) tehnologice mai sigure (fiabile) compuse din elemente nesigure (nefiabile) se obține prin introducerea *rezervelor* și a *stocurilor*.

3.4. Nivelul de fiabilitate și *durata de viață* ale elementelor și sistemelor se optimizează prin luarea în considerare a costurilor necesare creș-

* Prof. dr. doc. Vasile I. Nitu — Institutul Politehnic București.

terii fiabilității, a daunelor probabile rezultate din nonfiabilitate și a cheltuielilor de întreținere.

3.5. Fiabilitatea sistemelor tehnice este în interdependență cu factorii *umani* și factorii specifici mediului *ambiant* (*natural* și *social*).

3.6. Fiabilitatea și *securitatea* sistemelor care pot conduce la pierderi de vieți omenești, explozii, incendii, distrugeri de echipamente se realizează prin folosirea de elemente cu *indicatori de fiabilitate garantați*, introducerea de sisteme de *rezervare* autonomă și folosirea unui *personal de exploatare autorizat* (filtru total al condițiilor de fiabilitate și securitate).

3.7. Fiabilitatea și *entropia* instalațiilor sînt două aspecte simetrice, intercondiționate de calitatea tehnologică a instalațiilor și mentenanța lor.

3.8. Activitățile de mentenanță reprezintă o *industrie paralelă* cu industria de bază, condiționată, ca amploare, de nivelul de fiabilitate al echipamentelor și instalațiilor (elementelor și sistemelor).

4. Bazele matematice ale fiabilității

Trecerea de la abordarea deterministă a fenomenelor la abordarea probabilistică a fost posibilă ca urmare a dezvoltării calculului statistic pînă la nivelul modelelor de calcul, care au devenit operaționale în diferite domenii ale științelor tehnice.

Fenomenele studiate au un caracter aleator și se conformează regulilor și principiilor calculului statistic și probabilistic: funcționarea, avarierea, repararea etc.

Activitățile inginerești din domeniul energetic reclamă cuantificarea mărimilor aleatoare care caracterizează stările prin care evoluează instalațiile energetice. Finalizarea procesului de cuantificare se exprimă prin indicatori numerici de fiabilitate, disponibilitate, securitate, mentenabilitate.

Modalitățile de calcul al acestor indicatori se asigură cu ajutorul modelelor probabilistice, fiecare dintre aceste modele avînd domeniile sale de aplicare, condițiile inițiale și limitele de utilizare. Aceste particularități au condus la existența unei diversități de modele probabilistice, folosite curent în practică, dintre care enumerăm :

— metoda binomială ;

— metoda lanțurilor Markov de parametru continuu ;

— metoda lanțurilor Markov de parametru discret ;

— metode bazate pe procese semi-Markov.

— metoda Monte Carlo ;

— metoda arborilor de evenimente și defectare.

Metodele enumerate sînt descrise pe larg în literatura de specialitate, în îndrumare de calcul etc. Aceste metode se aplică diferențiat, în funcție de caracteristicile instalației, permit elaborarea de programe de calcul, ceea ce oferă posibilitatea studierii în variante a problematicii fiabilității.

5. Concepte integrate, indicatori și sisteme de acțiune

Fiabilitatea, în forma ei actuală puternic matematizată, derivă din concepția empiric-inginerească cu privire la siguranța obiectivelor tehnice. Conceptul empiric de fiabilitate sintetiza experiența trecută a colectivității tehnice din domeniul respectiv, ținea seama de intercondiționările dintre procese și sisteme, de impactul progresului tehnic, al factorului uman etc. Lipsa cuantificării cu ajutorul modelelor probabilistice nu oferea posibilitatea evaluării ponderilor, a comparării variantelor, ceea ce favoriza penetrarea subiectivului. Procesul rapid de automatizare introduce și amplifică riscul omisiunii parțiale sau totale a intercondiționărilor, premiselor și a sistemelor de acțiuni, care devin complementare în asigurarea realizării în practică a indicatorilor de fiabilitate prognozați. Evitarea acestui risc se obține prin introducerea conceptelor integrate, sinonime programelor expert, care se asociază indicatorilor din sistemele de acțiuni care trebuie făcute operaționale, astfel încît indicatorii de fiabilitate, securitate, mentenabilitate să se realizeze la nivelul programat.

5.1. Concepte integrate :

— fiabilitate ;
— disponibilitate ;
— securitate ;
— mentenabilitate.

5.2. Indicatori :

— probabilitatea de funcționare (p), de defectare (q) ;

— intensitatea de avariere (λ), de reparare (μ) ;

— probabilitatea funcționării pînă la un moment dat $R(t)$;

— probabilitatea defectării pînă la un moment dat $Q(t)$;

— probabilitatea repunerii în funcțiune, pînă la un moment dat, $M(t)$;

— timpul mediu total probabil de funcționare $M[\alpha(T_p)]$;

— timpul mediu total probabil de defectare $M[\beta(T_p)]$;

— numărul mediu total probabil de treceri din starea de succes în starea de defect $M[\nu(T_p]$ etc.

— daune probabile, $D(t)$;

— cheltuielile totale actualizate.

5.3. Sisteme de acțiuni

— Sistemul de colectare, prelucrare și stocare a datelor de exploatare și testare privind indicatorii de fiabilitate, disponibilitate, securitate și mentenabilitate (*aportul informațional de negentropie*).

— Sistemul de organizare a activităților de calcul și prognoză a indicatorilor de fiabilitate, disponibilitate, securitate și mentenabilitate.

— Sistemul de asigurare (*garanții*) a indicatorilor de fiabilitate, disponibilitate, securitate și mentenabilitate (sistemul AQ).

— Sistemul de *selectare*, *pregătire*, *testare* și *autorizare a personalului* de *cercetare*, *proiectare tehnologică*, *exploatare* și de mentenanță, în concordanță cu nivelurile de fiabilitate, disponibilitate, securitate, mentenabilitate prognozate.

— Sistemul de organizare a exploatării, corelat cu nivelurile de fiabilitate, disponibilitate, securitate și mentenabilitate existente la obiectivul respectiv.

— Sistemul de organizare a mentenanței corective și preventive, corelat cu indicatorii obiectivului și conceput ca sistem de acțiuni antientropice.

Calitatea și fiabilitatea constituie în final reflectarea în spațiul aplicativ a nivelului conștiinței profesionale și reprezintă o importantă componentă a comportamentului uman și a responsabilității civice.

În domeniul energetic, problematica fiabilității și disponibilității este deosebit de actuală. Realizarea indicatorilor de disponibilitate este rezultanta a numeroase acțiuni care își găsesc o tratare unitară în cele ce urmează.

6. Conceptul integrat de disponibilitate

6.1. Considerații generale

Problematica disponibilității a evoluat de la o simplă noțiune la un concept complex, care integrează numeroase activități privind concepția, fabricația, montajul, exploatarea, controlul calității, pregătirea personalului etc. Interesul crescînd care se manifestă față de disponibilitatea centralelor electrice este determinat în primul rînd de implicațiile economice ale acestuia.

Studiile efectuate pe plan mondial au demonstrat că preocupările pentru eliminarea indisponibilității antrenează incomparabil mai mici cheltuieli decît daunele produse de funcționarea în condiții de deficit de energie, cu frecvență scăzută sau decît realizarea de noi capacități de producție a energiei electrice.

Problematica indisponibilității a devenit o realitate în energetica mondială, ca urmare a schimbărilor de structură în producția de energie electrică, cu efecte negative în special în țările în curs de dezvoltare, ca urmare a următoarelor cauze :

— creșterea ponderii cărbunilor inferiori în producția de energie electrică ;

— trecerea la puteri unitare mai mari și la parametrii superiori ai aburului ;

— neasigurarea unei concordanțe între activitățile de mentenanță (întreținere, profilactică, reparații etc.) și complexitatea noilor instalații ;

— nerealizarea unui devans în pregătirea tehnică a personalului de exploatare, a personalului de asigurare a activităților de mentenanță, a personalului de coordonare tehnică, față de introducerea în exploatare a noilor capacități, situație dovedită de faptul că tocmai țările care cheltuiesc mai puțin cu pregătirea personalului și asigură timpii cei mai scurți pentru pregătirea acestuia, au și disponibilitatea cea mai scăzută ;

— lipsa „garanțiilor științific fundamentate și cuantificate" a furnizorilor de echipamente, sau din partea organizațiilor de proiectare și montaj, a organizațiilor de pregătire a personalului de exploatare și mentenanță față de beneficiarul noii capacități de producție a energiei electrice ;

— neasigurarea condițiilor materiale și sociale, inclusiv a stimulentelor financiare pentru personalul de exploatare în concordanță cu nivelul de tehnicitate al instalațiilor și cu particularitățile amplasamentului ;

— asimilarea prematură a unor echipamente de mare complexitate.

Toate aceste considerații au determinat importante mutații în abordarea conceptuală a disponibilității prin ridicarea activităților aferente la nivelul de „inginerie a disponibilității" sau de „tehnologia disponibilității și calității".

7. Premisele realizării indicatorilor de disponibilitate prognozați prin proiect

În funcție de rolul și destinația centralei electrice în acoperirea curbei de sarcină a sistemului electroenergetic, indicatorii de disponibilitate și indisponibilitate se definesc pe baza statisticilor de timp, putere și energie (D_T, I_T, D_P, I_P, D_F, I_E).

La faza de concepție proiectantul centralei electrice predetermină (prognozează) indicatorii de disponibilitate ai obiectivului proiectat, planificînd producția medie de energie anuală ($E = P_{nom} T_u$). Prognoza indicatorilor de disponibilitate presupune :

— cunoașterea indicatorilor de fiabilitate (λ, μ, p, q) ai elementelor componente din statistica funcționării elementelor similare, din prelucrarea datelor rezultate din testele efectuate de furnizor sau din studii speciale efectuate în acest scop ;

— folosirea modelului probabilistic cel mai adecvat (metoda binomială, metoda lanțurilor Markov cu timp continuu sau discret, metoda de simulare Monte Carlo, metoda arborelui de

evenimente și defectare etc.), în scopul calculului indicatorilor de fiabilitate și disponibilitate la nivelul centralei electrice;

— cunoașterea contextului în care s-au determinat indicatorii de fiabilitate și disponibilitate ai elementelor componente și a condițiilor în care va evolua noul obiectiv.

Tendința de scădere a disponibilității, care se constată în multe țări și care tinde să devină un fenomen cronic în energetica țărilor în curs de dezvoltare, arată în mod evident că premisele în care a fost proiectat obiectivul energetic respectiv nu au fost cu claritate nominalizate, iar transpunerea lor în practică nu a fost la nivelul exigențelor dictate de complexitatea și tehnicitatea instalației.

În continuare ne vom ocupa succint de premisele realizării indicatorilor de disponibilitate prognozați prin proiect.

7.1. Garantarea indicatorilor de fiabilitate și disponibilitate de către fabricile furnizoare

În mod obișnuit, obligațiile furnizorilor de echipamente sînt stipulate în condițiile tehnice sau actele de vînzare/cumpărare prin prevederi generale, necuantificate și insuficient de precis formulate. În prezent se constată că tot mai multe firme pe plan mondial și-au organizat serviciile de fiabilitate și disponibilitate și sînt în situația de a oferi garanții.

Studiile statistice efectuate și numeroasele analize de caz, au evidențiat necesitatea obiectivă ca furnizorul să ofere garanții cu privire la: indicatorii de fiabilitate (λ, μ, p, q), indicatorii de disponibilitate (D_T, I_T, D_P, I_P, D_E, I_E), durata de viață a echipamentului cu indicarea perioadelor de rodaj, maturitate și îmbătrînire (curba de viață a echipamentului) și să transmită beneficiarului instrucțiuni concrete cu privire la condițiile de mentenanță și structura profesională a echipelor de mentenanță, stocul pieselor de rezervă etc.

7.2. Realizarea nivelului tehnic de pregătire profesională a personalului de exploatare, mentenanță, fabricație, montaj și concepție, în concordanță cu complexitatea și tehnicitatea noilor instalații, în scopul asigurării în exploatare a nivelului de fiabilitate și disponibilitate prognozat

Concepția actuală a elaborării statisticilor privind comportarea în exploatare a instalațiilor energetice și a clasificării cauzelor care au condus la avarii, evidențiază în insuficientă măsură ponderea erorilor umane datorită unei anumite incompetențe profesionale manifestată la toate fazele de realizare a unui anumit obiectiv industrial (energetic): concepție-proiectare, fabricație, montaj, exploatare etc. Aceste ponderi în statisticile actuale reprezintă 2—5%, dar reexaminate în spiritul noii concepții a statisticii aceste erori pot atinge ponderi de 50—70%. Aceste interpretări își au originea și în măsurile coercitive exercitate asupra personalului, fără să se înțeleagă că *responsabilitatea selectării, pregătirii, autorizării, admiterii la lucru și testării profesionale revine societății, respectiv unităților sau companiilor organizatoare.*

Această teză este confirmată și de referatul directorului general al companiei „Pacific Power Company" din S.U.A. [3], care arată:

„Se poate aprecia că scăderea disponibilității și fiabilității se datorează în mai mare măsură erorilor umane decît se estimează în prezent. Realizînd că în ultimă instanță responsabilitatea pentru toate întreruperile este legată de factori umani, trebuie să încercăm să separăm acele întreruperi care nu ar fi avut loc dacă s-ar fi acționat în mod corespunzător la fazele de concepție, fabricație, proiectare, montaj, exploatare".

În referatul [4] se arată că o pregătire profesională de bună calitate este condiția de bază în obținerea unei disponibilități ridicate a centralelor electrice și în special a celor nucleare.

În pregătirea profesională a personalului autorizat să îndeplinească diferite servicii, în centrală se disting două componente:

a) pregătirea obținută în școlile sau institutele de specialitate, care trebuie considerată ca o pregătire tehnică generală;

b) pregătirea suplimentară, obținută prin cursuri de specializare și care are ca scop formarea personalului la nivelul cerințelor instalațiilor pe care urmează să le exploateze sau să le întrețină.

Analitic *, ecuația pregătirii profesionale poate fi scrisă astfel:

$$N_{P,t} = n_{b,t} + n_S,$$

unde:

$N_{P,t}$ este nivelul profesional în anul dării în exploatare a obiectivului sau autorizării admiterii la lucru, respectiv anul t (megabiți);

$n_{b,t}$ — nivelul pregătirii tehnice generale în școlile sau institutele de învățămînt superior (megabiți);

n_S — cunoștințele suplimentare obținute prin școli de specializare care trebuie să dea cunoștințele necesare autorizării admiterii la lucru (megabiți).

Pregătirea suplimentară trebuie să se efectueze în linii generale în trei etape:

— pregătirea pe baza „manualelor" de exploatare și întreținere;

---

* Nivelul cunoștințelor poate fi cuantificat în biți. Știind că o pagină etalon de documentație cuprinde 3500 caractere, iar pentru fiecare caracter corespund 3,86 biți, dacă teoria care trebuie asimilată (instrucțiuni de exploatare, regimurile de funcționare permanente și tranzitorii etc.) are respectiv 500 pagini, atunci candidatul trebuie să-și însușească un volum de informații echivalent cu 6,755 megabiți.

— aprofundarea pregătirii profesionale cu ajutorul simulatoarelor;

— perfecționarea pregătirii prin apelarea la un „calculator electronic" consultant.

Fundamental în pregătirea suplimentară profesională este pregătirea pe bază de manual. Etapa actuală a energeticii este caracterizată printr-o creștere a complexității instalațiilor, ceea ce amplifică responsabilitatea societății în pregătirea personalului de specialitate, în autorizarea acestuia în exercitarea diferitelor profesiuni pe întreg lanțul de concepție, fabricație, montaj, exploatare, coordonare etc., în crearea condițiilor materiale și social-culturale aferente.

7.3. Existența „programelor de calitate", a „normelor, standardelor și prescripțiilor"

Programele de calitate reprezintă un ansamblu de indicatori, principii, proceduri care reglementează pe o bază cuantificată și strict legiferată reacțiile dintre proiectanți, furnizori, montatori, beneficiari și care includ normele, standardele și prescripțiile existente în momentul elaborării lor.

7.4. Nivelul activităților de mentenanță, necesar asigurării indicatorilor de disponibilitate și fiabilitate prognozați

Politica de mentenanță (RT, RK_1, RK_2, RK) trebuie să aibă la bază experiența din țările cu tradiție în acest domeniu și să fie în concordanță cu realitățile energetice din fiecare țară în parte.

Diagnosticarea corectă conduce la prevenirea apariției unor avarii, prin executarea acțiunilor de mentenanță preventivă la momentul oportun. Tehnica diagnosticării se bazează pe un ansamblu de informații sistematic colectate și prelucrate și oferă o bază obiectivă pentru organizarea acțiunilor de mentenanță.

8. Aspectele organizatorice ale activităților de exploatare destinate să asigure nivelul de disponibilitate fundamentat prin proiect

Pe perioada exploatării agregatelor energetice trebuie organizate în mod distinct următoarele activități:

8.1. Colectarea, prelucrarea și stocarea datelor cu privire la comportarea în exploatare a agregatelor energetice și a elementelor componente

Experiența a arătat că o bază de date științific constituită reprezintă fundamentul deciziilor cu privire la pregătirea personalului de exploatare, la organizarea acțiunilor de mentenanță, la stabilirea cerințelor către fabricile furnizoare, la determinarea indicatorilor de fiabilitate și disponibilitate.

Schema logică a acestor activități trebuie să cuprindă:

— codificarea echipamentelor incidentelor de exploatare și cauzelor acestora;

— colectarea datelor privind incidentele de exploatare și redactarea „Fișei de echipament" și a „Fișei de incident";

— calculul, pe baza datelor de exploatare, al indicatorilor de fiabilitate și disponibilitate λ, μ, p, q, $D(t)$, $I(t)$ și elaborarea graficelor tip „Pareto";

— organizarea băncii de date;

— editarea periodică a sintezelor privind fiabilitatea și disponibilitatea instalațiilor energetice.

8.2. Tehnica diagnosticării agregatelor energetice și expertizării avariilor

Indicatorii de fiabilitate și disponibilitate ai agregatelor energetice variază în timp. Identificarea cît mai exactă a momentului în care trebuie să se intervină în evoluția agregatului respectiv pentru a fi supus unor acțiuni de mentenanță poate fi realizată prin adoptarea unor tehnici corespunzătoare de diagnosticare bazate pe informații tehnice și economice relevante pentru agregatul studiat.

8.3. Organizarea acțiunilor de mentenanță în concordanță cu complexitatea și gradul de tehnicitate al instalațiilor energetice

În ceea ce privește acțiunile de mentenanță preventivă, pe plan mondial se confruntă două concepte:

— efectuarea mentenanței preventive conform unei planificări prealabile;

— efectuarea mentenanței preventive pe baza evoluției parametrilor și performanțelor agregatelor la date care rezultă ca necesare din diagnosticarea sistematică a agregatului.

În interesul creșterii disponibilității este important să se aprofundeze cele două concepte și să se adopte acela care corespunde cel mai bine formelor organizatorice și specificului economic.

Acțiunile de mentenanță corectivă trebuie finalizate fie de organizațiile specializate ale exploatării, fie de fabricile furnizoare, imediat după apariția avariei.

8.4. Testarea sistematică și periodică a pregătirii personalului de exploatare

Testarea periodică a nivelului de pregătire profesională și a condițiilor psihico-fizice ale personalului de exploatare are ca scop stimularea, verificarea concordanței dintre nivelul cunoștințelor și deprinderilor și cerințele instalației.

Realizarea unei compatibilități perfecte în sistemul om-mașină este o garanție a creșterii indicatorilor de disponibilitate.

8.5. Interdependența caracterului sistemic al energeticii și a formelor organizatorice

Unitatea de concepție și acțiune a disponibilității reclamă forme organizatorice adecvate.

Formele de organizare pot fi variate, dar în mod logic se impun următoarele :

— în faza de rodaj și intrare în exploatare, existența unui departament pentru PUNERE ÎN FUNCȚIUNE, încadrat cu specialiști de înaltă calificare, departament care își încetează activitatea la atingerea indicatorilor din proiect ;

— la faza de exploatare normală, inclusiv în perioada de punere în funcțiune, trebuie să fie organizate departamentele : TEHNIC, MENTENANȚĂ și EXPLOATARE.

De menționat că întreaga LOGISTICĂ a DISPONIBILITĂȚII și FIABILITĂȚII trebuie să fie concentrată la departamentul tehnic și să existe specialiști care să o exploateze atît în condiții de exploatare normală, cît și în condiții de avarii.

Bibliografie

[1] Nitu, V. I. *Fiabilitatea instalațiilor energetice*, Ed. Academiei, 1973.

[2] Nitu, V. I. *The law of entropy and the development of energy systems.* Revue Roumaine des Sciences Techniques, Tome 31, nr. 1, 1986.

[3] Richwine, R. R. *Importanța înregistrării și analizei datelor în creșterea disponibilității centralelor electrice.* Simpozionul „Disponibilitatea centralelor electrice", 28.31.10, Roma.

[4] Beauchesne, G. *Formarea personalului centralelor nuclearo-electrice din Franța : noi mijloace pedagogice și metode de formare.* Simpozionul „Disponibilitatea centralelor electrice", Roma, 28—31.10.198.

(Primit la 9 noiembrie 1987, acceptat la 24 decembrie 1987)

Din energetica mondială

ECONOMII IMPORTANTE DE COMBUSTIBIL LA O FABRICĂ DE CĂRĂMIZI, ÎN ITALIA, PRIN UTILIZAREA PRODUCȚIEI COMBINATE DE ENERGIE ELECTRICĂ ȘI CĂLDURĂ

Cuptoarele de producere a cărămizilor consumă anual, în Italia, circa 1 mil. t c.c., ponderea energiei în costurile totale fiind de ordinul a 40—50 %. Consumul specific mediu de energie electrică pe unitatea de producție este de 5 kWh, iar cel de căldură — de 50 000 kcal. La una din fabricile de cărămidă, care consumă anual 4,5 mil. kWh și 5,4 mil. m^3_N gaze naturale, s-a instalat un motor cu gaze, cu o putere de 400 kW, care consumă 118 m^3_N/h gaze naturale și care antrenează un generator electric de 470 kVA. Acesta este racordat la sistemul energetic. Căldura reziduală a gazelor la ieșirea din motorul cu gaze, a apei de răcire, a uleiului, a sistemului de răcire al generatorului electric se regenerează utilizînd căldura recuperată pentru uscarea cărămizilor și încălzirea apei.

Consumul de combustibil s-a redus, în comparație cu producerea separată a căldurii și energiei electrice cu 38 %. Durata de recuperare a investițiilor necesare este de 3 ani.

(După „Referativnii Jurnal" 22, Energhetika, vol. general, nr. 6, 1987, poz. 6 S. 197).

IMPORTANTE REALIZĂRI PE PLAN MONDIAL ÎN DOMENIUL IZOLAȚIEI TERMICE A CONDUCTELOR DE TRANSPORT

Un interesant articol de sinteză privind diferitele tehnologii noi de izolare a conductelor de transport al tuturor categoriilor de fluide, inclusiv apa fierbinte pentru încălzire, a apărut în nr. 1/1987 al publicației „*Energheticeskoe stroitelistvo za rubejom*" sub semnătura lui A. I. Kazubov.

În articol se prezintă pe scurt soluțiile noi experimentate în Franța, S.U.A., Finlanda, Canada, Portugalia, Austria, R.F.G., Elveția, Anglia. Se prezintă tehnologii folosind numeroase materiale noi ca policlorvinilul, fibra de sticlă, amestecul de bitum și plută, penopoliuretanul, ultimul bucurîndu-se de o largă răspîndire. Sînt date caracteristicile materialelor și numeroase cifre care demonstrează eficiența tehnologiilor și performanțelor diverselor tipuri de izolație. Este evidențiat progresul tehnic realizat în acest domeniu, cu efecte importante asupra economiei de energie și a măririi considerabile a distanțelor de transport al fluidelor calde. În bibliografie sînt redate nu mai puțin de 20 de patente de invenții, studiate de autor.

NOU TIP DE TRANSPORTOR ÎNCLINAT PENTRU CĂRBUNE ÎN REPUBLICA FEDERALĂ GERMANIA

Pentru intensificarea extracției cărbunelui, în R.F.G. s-a introdus un nou transportor înclinat avînd o lungime de 3743 m, la o diferență de nivel de 783 m, cu o capacitate de 1800 t/h. Banda transportoare este realizată dintr-un cauciuc special, avînd o carcasă din cabluri de oțel, lățimea de 1,4 m, grosimea de 35 mm și greutatea de 106 kg/m. Acționarea se face prin două motoare electrice de 3100 kW fiecare.

(După „Energie", R.F.G., 1987, 39, nr. 1—2, 17, 19—22)

Oameni și evenimente în cei 35 de ani

Argument

În cadrul activității tehnico-științifice, desfășurată în țara noastră, în domeniul electrificării, ENERGETICA este periodicul care asigură o prezentare continuă a realizărilor, studiilor și proiectelor de viitor, adică a tuturor problemelor energetice, manifestînd și tendința de a deveni tribună de dezbatere.

La împlinirea a peste o treime de veac de existență se impune ca privirea retrospectivă să aibă nu numai caracter festiv, ci și pe acela mai substanțial de revalorificare a conținutului ENERGETICII din acest interval, marcînd ideile și evenimentele relevante, precum și oamenii care au participat la ele.

Periodice energetice înaintea revistei ENERGETICA

ENERGETICA a avut precedente cu semnificații la timpul lor.

În contextul ideilor de electrificare, care se manifestau după marea unire, în urma primului război mondial, s-a resimțit necesitatea de comunicare și dezbatere asupra problemelor energetice.

Cea dintîi inițiativă de editare a unui periodic specific acestui domeniu a fost a profesorului inginer Dimitrie Leonida, sub a cărui conducere a apărut, în 1920, *ENERGIA*.

Cu o existență mai lungă și cuprindere mai largă au fost *Buletinul IRE* (Institutul Român de Energie) și *Buletinul A.P.D.E.* (Asociația Generală a Producătorilor și Distribuitorilor de Energie Electrică), ambele cu apariție pînă în 1944.

Despre conținutul acestor trei periodice au fost publicate articole în ENERGETICA nr. 4/1983 și nr. 6/1985.

Articole de energetică s-au mai publicat și în periodicele generale tehnice — *Buletinul Societății Politehnice* și *Buletinul A.G.I.R.*

În perioada imediat după cel de al doilea război mondial au apărut :

— între 1 iulie 1947 și 1949 revista *ELECTRICITATE* ;

— între 1950 și 1952 revista *ELECTRICITATEA*.

Prima dintre acestea făcea parte inițial dintre revistele tehnice AGIR (Asociația Generală a Inginerilor din România) și era condusă de un comitet de redacție, compus din unele personalități din acel timp (conf. dr. ing. Avramescu, ing. Martin Bercovici, prof. ing. I. Constantinescu, ing. Ion Corodeanu, prof. ing. C. Dinculescu, prof. ing. I. S. Gheorghiu, ing. Aurel Pârvu, conf. ing. Al. Popescu, prof. dr. ing. Remus Răduleț, prof. dr. ing. Tudor Tănăsescu și ing. D. Serbescu).

A doua revistă a apărut ca organ al A.S.T. (Asociația Științifică a Tehnicienilor din R.P.R.) și al M.E.E. (Ministerul Energiei Electrice).

Deși perioada 1947—1952 nu intră în analiza de față, este de semnalat că printre colaboratorii revistei ELECTRICITATEA erau și profesori seniori, care cei dintîi predaseră teoria electromagnetismului la cele dintîi două politehnici, din București și Timișoara, ale căror articole aveau caracter teoretic, cu puncte de vedere originale.

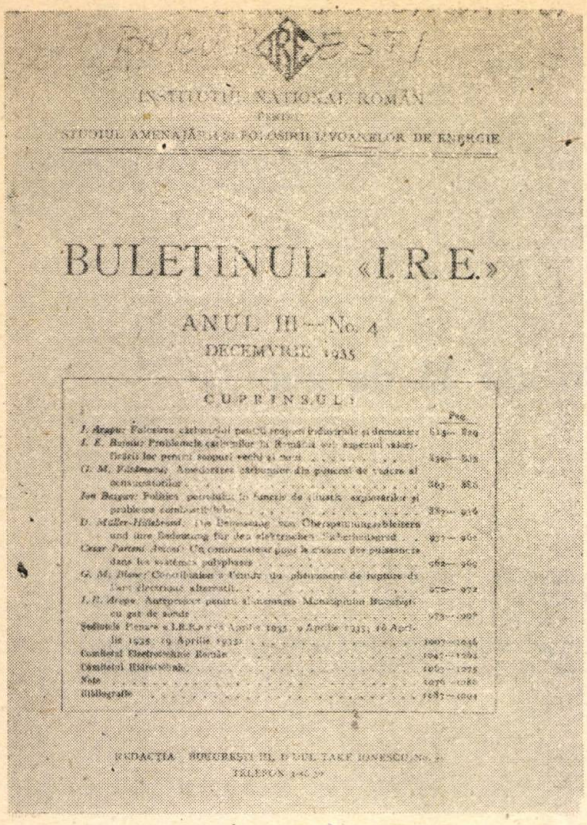
Profesorul dr. ing. Plauțiu Andronescu a publicat (nr. 7 și 9/1951) rezultatele unui studiu despre *„Legăturile între curentul electric, potențialul electric și particulele mobile cu viteze constante"*, care urmărea să releve sensul fizic profund al mărimilor de uz obișnuit (curentul, tensiunea și rezistența electrică), stabilind și consecințe practice, ca de exemplu limita de aplicabilitate a legii lui Ohm.

Profesorul ing. I. Constantinescu a tratat despre vectorul lui Umov-Poynting în curent continuu, demonstrînd că expresia acestui vector este generală, aplicîndu-se *„atît în curent continuu, cît și în curent alternativ"*, anulînd concepția că *„în cazul curentului continuu vectorul Umov-Poynting este nul"*.

Tot de un aspect al transportului energiei electrice s-a ocupat și profesorul Niculae Vasilescu-Karpen, activ cercetător, care emitea (nr. 1—2/1952) o teorie asupra rolului electronilor în transmiterea energiei electrice prin linii, pe care o redăm, deoarece conține o idee ce merită atenție :

„În transportul energiei electrice prin fire metalice părerea unanimă este că energia ar fi transportată de sau prin cîmpurile magnetice și electrice din jurul firelor. Părerea se sprijină pe aplicarea vectorului Umov-Poynting în presupunerea că — și în cazul de față — acest vector ar reprezenta un flux de energie. Se arată aici, că energia este transmisă în realitate prin electroni, care circulînd prin fire, constituie nu numai curentul electric, ci și un flux de energie, pe care o primesc la originea liniei de transport, de la generator, și pe care o restituie la finele liniei prin receptor".

Profesorul ing. C. Budeanu a publicat articolul *„Asupra rezistenței undelor electromagnetice în spațiul vid"* (nr. 8/1951), iar profesorul dr. ing. Tudor Tănăsescu a publicat articolul *„Transferul energiei electrice"* (nr. 8—9/1952) în care fenomenele electrice sînt privite sub aspectul cîmpului electromagnetic și au la bază întotdeauna (în stare staționară, statică, sau variabilă) fie că este o linie, transformator sau mașină electrică, fluxul vectorului Umov-Poynting.



INSTITUTUL NAȚIONAL ROMÂN
PENTRU
STUDIUL AMENAJĂRII ȘI FOLOSIRII IZVOARELOR DE ENERGIE

BULETINUL «I.R.E.»

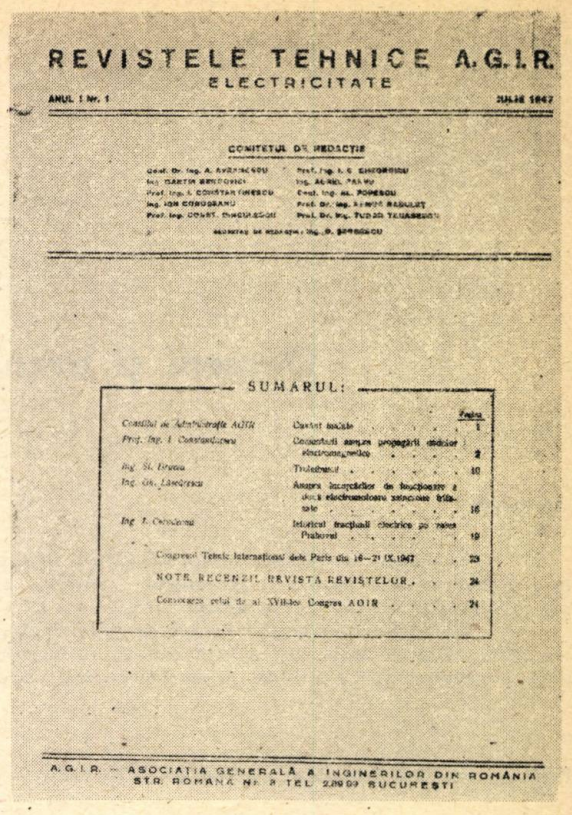
ANUL III—No. 4
DECEMVRIE 1935

CUPRINSUL:

	Pag.
I. Atanasiu: Valorizarea cărbunelui pentru scopuri industriale și domestice	613—629
E. E. Bainiță: Problemele cărbunilor în România sub aspectul valorificării lor pentru scopuri vechi și noui	630—638
G. M. Foldmann: Asemănările cărbunilor din punctul de vedere al constituției	639—658
Ion Bezviconi: Politica generală în funcție de situația exploatărilor și problema combustibilului	659—676
D. Müller-Hillebrand: Die Bedeutung von Oberspannungsbiegern und ihre Bedeutung für den elektrischen Lichtbogenofen	677—696
Cezar Partenie Ancuța: Un contribuitor pentru determinarea puterii în sistemele polifazate	697—699
G. M. Plavu: Considerațiuni asupra fenomenului de pătrundere de regimuri de curenți electrice alternativi	700—727
I. D. Atanasiu: Antreprenor pentru săparea Metropolitanului Bucureștiului cu gaz de sonde	728—797
Școlarele Premate a I.R.E. pe anii 1933, 1934, 1935, 1936	797—806
Cumbrul Electrotehnic Român	806—807
Comitetul Electrotehnic Român	807—808
Comitetul Hidrotehnic	808—809
Note	809—810
Bibliografie	810—814

REDACȚIA: BUCUREȘTI III, B-DUL TAKE IONESCU No. 2
TELEFON 3-40-50

Fig. 1



REVISTELE TEHNICE A.G.I.R.
ELECTRICITATE

ANUL I Nr. 1 IULIE 1947

COMITETUL DE REDACȚIE

Conf. Dr. Ing. A. AVRAMESCU — Prof. Ing. A. C. CONSTANTINESCU
Ing. MARTIN BERCOVICI — Ing. AL. DEL. PAL MY
Prof. Ing. I. CONSTANTINESCU — Conf. Ing. Al. POPESCU
Ing. ION CORDUBANU — Prof. Dr. Ing. ERNEST RADULET
Prof. Ing. CONST. CHIRIȚESCU — Prof. Dr. Ing. TUDOR TEODORESCU

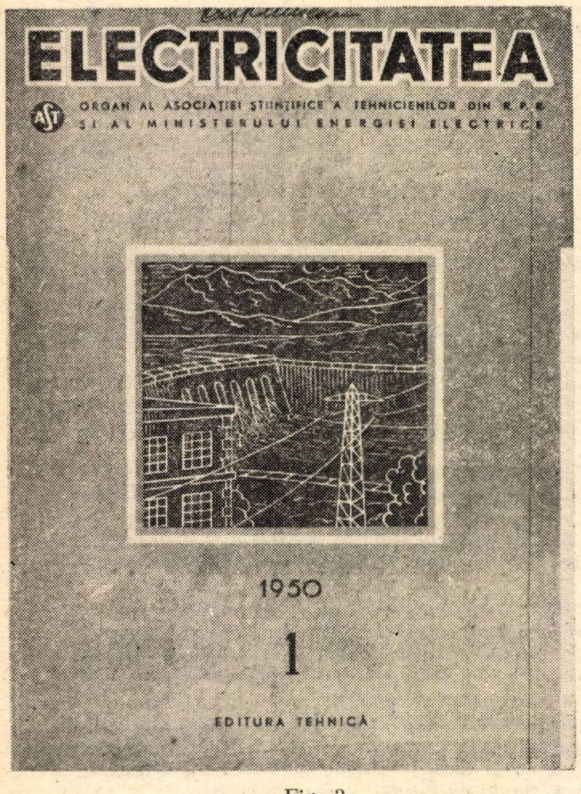
SECRETAR DE REDACȚIE: Ing. D. BOBESCU

SUMARUL:

		Pagina
Comitetul de Administrație AGIR	Cuvânt inițial	1
Prof. Ing. I. Constantinescu	Concursuri asupra propagării undelor electromagnetice	2
Ing. St. Irimia	Tratatul	10
Ing. Gh. Lăcătușu	Asupra încercărilor de întrerupere a unui electromotor asincron trifazat	16
Ing. I. Cătuneanu	Istoricul fracțiunii electrice pe vasul Prahova	19
Congresul Tehnic Internațional dela Paris din 16—21 IX.1947		23
NOTE, RECENZII, REVISTA REVISTELOR		24
Concursuri prilej de al XVIII-lea Congres AGIR		24

A.G.I.R. — ASOCIAȚIA GENERALĂ A INGINERILOR DIN ROMÂNIA
STR. ROMANĂ Nr. 3 TEL. 2.09.97 BUCUREȘTI

Fig. 2



ELECTRICITATEA

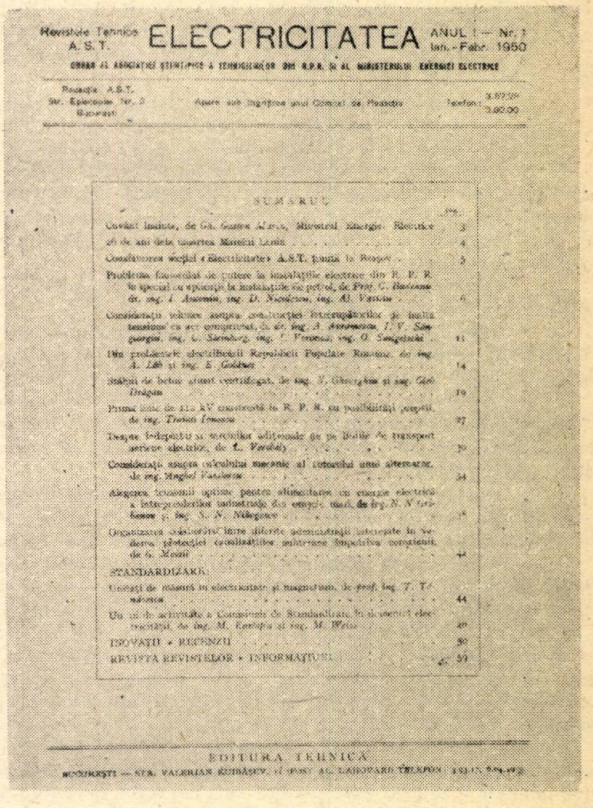
ORGAN AL ASOCIAȚIEI ȘTIINȚIFICE A TEHNICIENILOR DIN R.P.R. ȘI AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE

1950

1

EDITURA TEHNICĂ

Fig. 3



Revistele Tehnice A.S.T. ELECTRICITATEA ANUL I — Nr. 1 Ian.-Febr. 1950

ORGAN AL ASOCIAȚIEI ȘTIINȚIFICE A TEHNICIENILOR DIN R.P.R. ȘI AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE

Redacția A.S.T. Str. Episcopiei Nr. 2 Bucureșt — Adresa sub îngrijirea unui Comitet de Redacție — Telefon 3.67.59 3.60.00

SUMARUL

	Pag.
Cuvânt inițial, de Ing. Gustav Alexe, Ministrul Energiei Electrice	3
40 de ani dela înființarea Marelui Lotru	4
Consfătuirea asupra «Electricității» A.S.T. ținută la Brașov	5
Problema financiară de pătrundere în instalațiile electrice din R. P. R. în special cu aplicație la instalațiile cu petrol, de Prof. C. Bărcănescu, dr. ing. I. Ascanio, ing. D. Nicolescu, ing. Al. Vasiliu	6
Considerații teoretice asupra producției întreruptătoare în instalațiile de înaltă tensiune cu ulei comprimat, de dr. ing. A. Avramescu, I. V. Georgescu, ing. L. Sternberg, ing. I. Teodorescu, ing. O. Șengăloiță	11
Din realizările electrificării Republicii Populare Romîne, de ing. A. Lăb și ing. E. Goldner	14
Stâlpi de beton armat centrifugați, de ing. V. Gheorghiu și ing. Gh. Drăgan	19
Prima linie de 110 kV construită în R. P. R. cu posibilități pentru 220 kV, de ing. Traian Ionescu	27
Despre întreținerea și curățirea izolatoarelor de pe liniile de transport aeriene electrice, de I. Vasiliu	30
Considerații asupra calculului numeric al curenților unui alternator, de ing. Virgiliu Fătulescu	34
Alegerea locurilor optime pentru alimentarea cu energie electrică a întreprinderilor industriale din orașe, mici, de ing. N. V. Teodorescu și ing. N. N. Nădejdeanu	38
Organizarea colaborării între diferite administrații interesate în vederea protecției conductelor subterane împotriva coroziunii, de G. Mezdi	41
STANDARDIZARE:	
Unități de măsură în electricitate și magnetism, de prof. ing. T. Teodorescu	44
Un nou domeniu de activitate a Comisiunii de Standardizare în domeniul electricității, de ing. M. Kostopa și ing. M. Pleșu	49
ISPRAVĂ • RECENZII	50
REVISTA REVISTELOR • INFORMAȚIUNI	50

EDITURA TEHNICĂ
BUCUREȘTI — STR. VALERIAN RUSSESCU 11 (FOST AL. LAHOVARI) TELEFON 3.51.17, 3.64.49

Fig. 4

Articole teoretice asupra electromagnetismului nu s-au publicat în revista ENERGETICA, deşi între timp au apărut contribuţii româneşti, dintre care sînt de semnalat: mai multe studii ale prof. Remus Răduleţ, publicate în periodice ştiinţifice, şi cartea *„Electrodinamica hertziană a corpurilor în mişcare (la viteze relativiste)"* a prof. Constantin Mocanu, apărută în anul 1985 în Editura Academiei R.S.R., semnificativă prin prezentarea originală a unei variante hertziene la teoria Einstein-Minkowski.

Apariţia revistei ENERGETICA şi importanţa ei

În locul revistei *ELECTRICITATEA*, de la 1.01.1953 au apărut două periodice *ENERGETICA* şi *ELECTROTEHNICA*, ambele ca organe ale A.S.I.T. (Asociaţia Ştiinţifică a Inginerilor şi Tehnicienilor din R.P.R.) şi MEEIE (Ministerul Energiei Electrice şi Industriei Electrotehnice).

Cu apariţie începînd din 1950 şi pînă în prezent sînt de semnalat şi următoarele periodice cu conţinut energetic:

— *Studii şi cercetări energetice*, publicaţie a Institutului de Energetică al Academiei R.S.R. din 1951, scindată în 1962 în A. *Energetică generală şi electroenergetică* şi B. *Termoenergetică şi utilizarea generală a combustibililor*, cu apariţie pînă la desfiinţarea institutului;

— *Revue Roumaine des Sciences Techniques*, editată de Academia R.S.R. pe specialităţi, între care *Serie Electrotechnique et Energetique*, începînd din 1955, cu apariţie şi în prezent.

— Buletinul Institutului de Studii şi Proiectări Energetice (ISPE), editat în limbi străine şi destinat în principal schimbului cu periodice din alte ţări.

Cu durate de viaţă relativ reduse au mai fost *Producerea, transportul şi distribuţia energiei electrice* (1968—1974), *Construcţii şi montaje energetice* (1968—1974) şi *Studii şi cercetări în energetică* (1970—1974).

Revista ENERGETICA cu o cuprindere largă, faţă de cele de mai sus, şi-a împletit existenţa de 35 de ani cu dezvoltarea electrificării României, reflectînd evenimentele principale ale acestei acţiuni şi marcînd, prin articolele publicate, participarea unui mare număr de specialişti.

De aceea, parcurgerea celor peste 400 de numere ale ENERGETICII, apărute între 1953 şi 1987, este interesantă din punctul de vedere al istoriei realizărilor energetice româneşti şi totodată utilă prin posibilitatea relevării concepţiilor şi soluţiilor tehnice preconizate sau aplicate în trecut şi reevaluarea în raport cu condiţiile din prezent.

O analiză an cu an fiind fastidioasă, în acest articol se procedează:

— la o comentare a unor ani relevanţi, care pot da o imagine de ansamblu a celor trei decenii şi jumătate;

— şi la o examinare amănunţită a perioadei „contemporane" a ultimilor 5 ani.

Ani relevanţi pentru revista ENERGETICA

In 1953, primul an de apariţie, articolele au mai mult caracter introductiv în cîteva probleme ale energeticii.

Ingineri, cu activitate importantă în trecut, sînt prezenţi, manifestîndu-se cu lărgirea preocupărilor lor; totodată participă şi tineri ingineri, care vor deveni colaboratori permanenţi: H. Albert, C. Moţoiu, C. Mihăileanu, E. Pavel, E. Potolea, M. Stein etc.

În electroenergetică profesorul C. Budeanu tratează probleme *„ale factorului de putere în instalaţiile electrice"* (nr. 8/9); tot cu privire la factorul de putere prof. Gh. Petrescu publică trei articole.

Inginerul Paul Dimo face cunoscute primele rezultate ale cercetărilor sale privind stabilitatea sistemelor energetice şi mai ales *„Cauzele supratensiunilor prelungite în reţelele cu neutrul izolat"* (nr. 11), prin care dovedeşte că acest fenomen, căruia i se dădeau explicaţii confuze, era datorit unei rezonanţe.

În hidroenergetică specialiştii afirmaţi, dr. ing. Cristea Mateescu şi dr. ing. Dorin Pavel, enunţă orientări în acest domeniu.

În termoenergetică sînt semnalate caracteristicile şi oportunitatea termoficării (I. D. Stăncescu şi Şt. Gheorghiu).

Despre exploatarea şi întreţinerea instalaţiilor termice este de semnalat articolul ing. C. Dinculescu *„Evitarea avariilor ţevilor fierbătoare şi de ecrane la cazanele de abur"*, problemă rămasă permanent de interes deosebit.

Se semnala încă de pe atunci şi necesitatea recuperării căldurii, rezultate în anumite procese.

Un articol de anticipare este cel relativ la potenţialul eolian, al prof. P. Stroescu, colaborator al profesorului E. Carafoli la realizarea primului tunel aerodinamic, la Politehnica din Bucureşti.

În proiectare, prof. dr. ing. I. Vlădea dădea orientări utile pentru realizarea turnurilor de răcire.

In anul 1956 s-au reluat relaţiile cu importante organizaţii internaţionale tehnico-ştiinţifice, în domeniile electric şi energetic, întrerupte în 1939, la izbucnirea celui de-al doilea război mondial.

S-au constituit în acest scop Consiliile Naţionale pentru: Conferinţa Mondială a Energiei — CME (preşedinte prof. ing. I. S. Gheorghiu) şi pentru Conferinţa Internaţională a Marilor Reţele Electrice — CIGRE (preşedinte prof. ing. C. Budeanu, vicepreşedinte prof. I. S. Antoniu). Despre sesiunile ţinute în acel an: CME, la Viena, 17—22 iunie, şi CIGRE, la Paris, 30 mai — 9 iunie, au fost publicate dări de seamă de către prof. Constantin Dinculescu şi ing. Călin Mihăileanu. Prima delegaţie la CIGRE a fost compusă din: prof. T. Tănăsescu, C. Mihăileanu, C. Apetrei şi V. I. Nitu.

Relaţiile cu cele două organizaţii au determinat o activitate intensă de studii de nivel internaţional şi lărgirea informaţiilor, ceea ce a avut larg ecou în ENERGETICA.

În domeniul energeticii nucleare, a cărei lansare internaţională avusese loc prin conferinţa ţinută la Geneva, în 1955, cu tema *„Atomul pentru pace"*, au fost publicate primele articole, unul tratînd despre teoria reactoarelor nucleare (I. Purica) şi altul despre viitorul energetic european sub aspect nuclear (Călin Mihăileanu).

Apare articolul ing. Paul Dimo *„Reprezentarea mașinilor sincrone prin curenți de scurtcircuit"*, prezentînd *„O nouă metodă de analiză a rețelelor electrice, care permite o reprezentare sugestivă a regimurilor de funcționare și înțelegere ușoară și simplificată a diverselor fenomene legate de aceste regimuri"*. Astfel este inițiată ceea ce, prin dezvoltări treptate, va deveni mai tîrziu „analiza nodală Dimo—AND".

Utilitatea metodei este confirmată de un articol ulterior (D. Martac), care se ocupă de *„cîteva aspecte asupra stabilității statice a sistemelor electrice, folosind un analizor de rețea propus de ing. Paul Dimo"*.

„Problema oportunității termoficării urbane în țara noastră fiind nu rareori pusă la îndoială", I. D. Stăncescu și Mircea Voinea procedează la un studiu comparativ între termoficarea urbană și alimentarea cu gaze naturale din punctul de vedere „al economiei de combustibil", recomandînd și studii pentru „celelalte aspecte ale problemei".

Anul 1960 este caracterizat prin prezentarea în ENERGETICA a realizărilor primului plan de electrificare, de zece ani, 1951—1960, în cursul căruia s-au pus în funcțiune în principal :

— 7 centrale termoelectrice importante, executate aproape toate pe baza acordului cu U.R.S.S. privind livrarea complexă a echipamentelor, inclusiv documentația tehnică a acestora ;

— 3 centrale hidroelectrice, în parte cu participarea U.R.S.S. și a R.S.C. ;

— linii electrice de înaltă tensiune, a căror proiectare și execuție au fost soluționate de la început și în întregime în țară ;

— termoficări industriale din centrale însumînd circa 400 MW.

În paralel cu realizarea centralelor menționate au fost extinse unele din centralele existente și s-a instalat un mare număr de centrale diesel electrice.

Corespunzător realizărilor au fost publicate primele monografii de obiective energetice (nr. 12) privind : CHE V. I. Lenin — Bicaz (A. Nourescu, A. Diaconu și A. Gilbert), CHE Sadu V (dr. ing. Dorin Pavel și Radu Prișcu), CHE Moroeni (dr. ing. Cristea Mateescu și M. Sipiceanu), CTE Paroșeni (C. Moțoi și F. Rouădedeal), CTE Steaua Roșie — Sîngiorgiu de Pădure (C. Constantinescu și A. Haidu), CET Borzești (I. Borșa, I. Ciupuliga și A. Mișu), CTE Gheorghiu-Dej — Doicești (M. Kraft).

Monografiile au suscitat un mare interes pentru cititori și îndeosebi pentru învățămînt, constituind exemple instructive.

Publicarea de articole cu această temă a continuat pînă spre sfîrșitul anilor '70, cînd ENERGETICA a început să primească din ce în ce mai rar asemenea monografii.

În afara articolelor cu caracter de bilanț ENERGETICA anului 1960 este marcată prin tratarea de probleme ale rețelelor electrice, referitoare la : legarea la nul a rețelelor de joasă tensiune (D. Soare și B. Stoleru) ; prima linie subterană de 110 kV în capitală (Pavel Vicol și Stelian Lăzărescu) ; funcționarea în două faze a liniilor trifazate de înaltă tensiune cu neutrul pus direct la pămînt (Vlad Rădulescu) ; utilizarea calculatorului numeric și a metodei separării nodurilor (L. Groza) ; tratarea neutrului în sistemul 35 kV Hunedoara (I. Hațegan) ; analiza nodală utilizînd curenții de scurtcircuit în cazul rețelelor complexe (Paul Dimo) ; determinarea circulațiilor de putere într-o rețea buclată cu ajutorul calculului matricial (A. Petroianu) ; determinarea valorii curentului de scurtcircuit în instalațiile interioare de joasă tensiune (V. Babeș) ; funcționarea în două faze a liniilor electrice aeriene cu tensiune de 110 kV și mai mare, cu neutrul legat direct la pămînt (Vlad Rădulescu și Ștefan Feldman).

Anii 1969, 1970, 1971 sînt caracterizați prin :

— împlinirea a 20 ani de proiectare în ramura energiei electrice ;

— 20 de ani de la stabilirea primului plan de electrificare (interval în care s-a ajuns la : o putere instalată în centrale electrice de 7500 MW, o producție de energie electrică de 35 TWh și o producție specifică de 1700 kWh/loc.) ;

— desfășurarea la București, între 28.06 și 2.07.1971, a celei de a 8-a sesiuni plenare a Conferinței Mondiale a Energiei, în condițiile dezvoltării cu succes a energeticii românești.

În revista ENERGETICA aceste evenimente sînt reflectate prin numeroase articole de bilanț, care nu au numai caracter aniversar, ci conțin numeroase considerații interesante asupra realizărilor energetice. Dintre ele sînt de amintit : 13 articole — 96 pagini, prezentînd în limba franceză și separat în română (nr. 6/1971) evoluția electrificării în România ; monografii ale unor obiective importante : Dezvoltarea sistemului energetic (nr. 1/1970), N. Armencoiu ; CTE Deva (nr. 1/1970), R. Zbarcea ; CHE Porțile de Fier I (nr. 5/1970), Vl. Focșa și E. Parhoti ; CET Govora, G. Marian ; Sistemul de termoficare Brazi — Ploiești (nr. 10/1970) ; Stația de transformare și conexiuni 220/110 kV Galați —Barboși (nr. 1/1969), E. Constantinescu, I. Sfartz, R. Bena și V. Vlădescu ; Centrala electrică cu turbine cu gaze de la București Sud (nr. 8/1968) C. Fulga și M. Păun.

În afara acestor materiale sînt de semnalat studii privind sistemul energetic și rețelele electrice. Astfel cei trei ani sînt bogați și în alte articole substanțiale.

Dr. docent ing. Paul Dimo, făcînd încă un pas în dezvoltarea concepției sale asupra analizei nodale, semnalează lărgirea posibilităților acestei metode prin asocierea calculatorului electronic, ceea ce permite vizualizarea directă a „imaginilor nodale", prin afișarea pe ecrane atît a calculelor, cît și a schemelor reprezentative. Dispozitivul realizat în acest mod este ANAGRAFUL.

Pe această linie cîteva articole tratează unele aplicații : vizualizarea comportării grupurilor generatoare — G. Moraite ; agregatele mari din punctul de vedere al stabilității—L. Groza ; analiza stabilității statice—S. Ionescu.

Preocupat de posibilitățile metodelor transfigurării, dr. ing. Călin Mihăileanu studiază (începînd cu un articol din 1969), aplicarea, cu ajutorul calculatorului, a multipolilor liniari (porțiuni de rețea din elemente de circuit, care pot avea rezistență, inductivitate proprie și capacitate, putînd fi cuplate prin inducție), pasivi și activi, în vederea găsirii unor circuite echivalente.

Teme privind perspectiva sînt tratate în articole, ca: studiul efectuat în ISPE de stabilire a nivelurilor de putere și rezervă în sistemul energetic (V. I. Nitu, C. Goldenberg, M. Mișu, L. Lup, E. Rosinger, A. Vlădescu) ; siguranța în funcționare a rețelelor pentru care se propune o modelare prin procese stocastice, tip Markov — staționare (H. Albert) ; continuitatea funcțională a grupurilor mari (G. Moraite, C. Cereșanu, O. Gheorghe, Șt. Velicu), descărcarea automată a sarcinii la scăderea frecvenței (I. Chenzbraun) ; optimizarea structurii rețelelor electrice orășenești (G. Grigoriu și H. Gritsch), determinarea momentului optim al modificării rețelelor de distribuție (I. Drăghici).

În afara acestor articole centrate mai mult pe viitor au fost înserate multe probleme atunci de actualitate privind mai ales rețelele electrice ; partea termică a beneficiat de un interes redus. Răzleț au apărut și cîteva articole privind tehnica nucleară, fără a se referi la aspecte de interes imediat.

Despre obiective în curs de realizare este de interes deosebit articolul care expune prima fază importantă a amenajării de la Porțile de Fier 1 : închiderea definitivă a Dunării, autori Vl. Focșa, A. Gilbert și Al. Vasiliu.

Au fost tratate variate probleme ale componentelor unor echipamente și ale combustibililor.

Activitatea pe șantier și ateliere a făcut obiectul a două articole : *Amplasarea optimă a obiectivelor de organizare de șantier la construirea centralelor termoelectrice*, autor A. Măcriș și *Încadrarea optimă cu personal a echipelor de reparații*, autor M. Cârlan.

Un articol despre introducerea sistemului internațional de unități — S.I. (C. Opriș), elaborat pentru "a veni în sprijinul autorior de articole" nu și-a ajuns scopul, deoarece în sectorul energetic se folosesc încă unități în afara S.I.

Istoria electrificării este reprezentată prin articolele: *Electrificarea în perioada 1921—1950* (Gh. Panaitescu, E. Costin, G. Manolescu, M. Dincă-Panaintescu) și *Uzina electrică din Iași la 70 de ani* (Constantin Ostap).

Anul 1980 încheie un deceniu în care pe plan mondial s-a produs o puternică perturbare în domeniul resurselor primare energetice prin creșterea excesivă a prețului țițeiului. Acțiunile de răspuns în țara noastră la această dereglare au fost declanșate prin Decretul 620/1973, cu privire la măsurile de dezvoltare a bazei energetice în noile condiții și de utilizare mai judicioasă a combustibililor și energiei, devenit apoi, cu unele modificări, legea 140/1973. Ca urmare s-au accentuat activitățile de construire de centrale pe lignit, de centrale hidroelectrice și de precizare a programelor nucleare. Totuși, energetica nucleară este slab tratată în revistă.

Anul 1980 este marcat și prin tratarea intensivă în revista ENERGETICA a problemelor de siguranță și fiabilitate. Articolele publicate cuprind o gamă largă de aspecte: de la fiabilitatea uleiurilor electroizolante pînă la siguranța SEN. Dintre articolele care au reținut deosebit atenția sînt de semnalat cîteva privind:

— siguranța în funcționare a SEN în condițiile economisirii energiei (I. Măiereanu și E. Pavel);

— analiza siguranței SEN cu ajutorul echivalenților REI (P. Dimo, M. Pomârleanu, L. Bejuscu și I. Radu);

— disponibilitatea elementelor de rețea (V. I. Nitu, H. Albert, M. Stein și A. Popescu);

— stația de mare putere ICEMENERG pentru verificarea fiabilității echipamentelor energetice (Gh. Bălan, V. Onu și E. Mihalcea);

— linii de mare capacitate—factori favorizanți în dezvoltarea interconectărilor (A. Sevastru).

În afara articolelor de tratare generală, cîteva se referă la cazuri concrete, ca de exemplu siguranța stațiilor din cadrul IRE Iași (H. Albert, M. Bogan și M. Bădin) și altele.

Ca și în alți ani se manifestă preferință pentru studiul regimurilor anormale și pentru regimul deformant.

Protecția mediului ambiant, subiect mai rar abordat, este prezent în ENERGETICA printr-un articol privitor la poluarea sonoră produsă de centralele electrice (Mugur Riedel).

În cadrul rubricii „Istoria electrificării" se amintește împlinirea unei jumătăți de secol de la punerea în funcțiune a obiectivelor semnificative CHE Dobrești și a liniei electrice Dobrești—București, prin care s-a introdus în țara noastră tensiunea de 110 kV și utilizarea conductoarelor de aluminiu/oțel (P. Cartianu, S. Bogdan și A. Ghitta). A fost omagiată activitatea de 45 de ani a ing. Ion Hațegan și activitatea prof. Simion Oprișor la împlinirea vîrstei de 76 de ani.

Dintre manifestările tehnico-științifice ale deceniului au fost consemnate în revistă Cea de-a IX-a Conferință Internațională de Energetică Industrială, ținută la București în intervalul 4—9 septembrie 1978, și lucrările Colectivului de prognoză, condus de prof. dr. Maliță Mircea, membru corespondent al Academiei R.S.R., care au avut loc în ziua de 17 februarie 1978 (dezbaterile au fost organizate de conf. dr. ing. Călin Mihăileanu). Această sesiune era pregătitoare pentru participarea la Conferința Mondială pentru Știință și Tehnologie din 1979. Lucrările sesiunii au fost editate într-un volum, care a consemnat participarea unui mare număr de energeticieni.

ENERGETICA în perioada „contemporană" (1983—1987)

Expunerea care urmează se bazează pe analiza cuprinsului a 54 numere, apărute în intervalul menționat, care conțin 402 articole originale.

Structura numerelor s-a menținut aceeași, cu articolele originale repartizate pe grupe de specialități; pentru restul materialului grupările au avut titluri fluctuante.

Ponderea cea mai mare, în pagini, o reprezintă, în toate numerele, articolele originale, asupra cărora se centrează atenția cititorilor; acestei categorii îi urmează recenziile de cărți și anunțările manifestărilor tehnico-științifice energetice din țară și străinătate, precum și dările de seamă asupra acestora; cu pondere mică intervin informațiile variate și cronicile, precum și aniversările și comemorările.

Au fost și numere excepții, în care „partea secundară" a covîrșit partea originală.

Două inovații, care au fost adoptate, sînt de natură să ridice nivelul și interesul cititorilor revistei:

— publicarea de largi sinteze în limba engleză ale unor articole substanțiale; și

— stimularea dezbaterii punctelor de vedere, exprimate în unele articole, prin comentarii formulate de redacție sau de cititori, uneori la mese rotunde, organizate de redacție.

Deziderate de realizat în viitor sînt:

— începerea fiecărui număr cu un „articol de fond", care să intereseze un număr mare de cititori, indiferent de specialitățile lor și

— un dozaj mai mare de informații, scurte, reflectînd acțiuni energetice din țară și străinătate, rubrică care ar da caracter de „actualitate".

Constituirea „fondului de articole de publicat", corespunzător planului tematic anual, a rămas o sarcină dificilă, care nu se poate realiza de redacție decît prin îndemn stăruitor pe lîngă autori potențiali.

Conducerile întreprinderilor ar putea veni în ajutor mobilizînd interesul de a se elabora articole despre realizări demne de-a fi cunoscute în lumea energeticienilor. În acest scop este util ca „planul tematic" anual să fie larg difuzat.

Sursele articolelor, adică sectoarele de activitate ale autorilor articolelor originale, sînt: cercetarea, învățămîntul tehnic superior, proiectarea, unități energetice, întreprinderi industriale și variate alte instituții, și anume:

— 55 de la unitățile MEE: serviciile centrale, CIPEET, CIRE, DEN, CPL, Energoconstrucția, Energomontaj, Electromontaj, Energoreparații, întreprinderile de centrale și rețele dintre care cu cea mai largă participare IRE Suceava;

— 11 de la întreprinderi industriale;

— 8 de la variate surse.

În cifrele de mai sus s-a ținut seama că multe articole au provenit de la colaboratori din două sau trei sectoare de activitate.

Sursa articolelor a determinat și factura lor. Cele mai multe își au originea într-un studiu teoretic; mai puține se bazează pe experiențe: în cercetare, în exploatare, în fabricație. Caracterul de studiu îndeamnă autorii să trateze dezvoltat temele abordate, cu tot aparatul matematic utilizat. O alternativă propusă de unii cititori este limitarea acestui mod de expunere, cei doritori de detaliu urmînd să le solicite direct autorilor.

Temele articolelor sînt dintr-o mare varietate de specialități. Din analiză rezultă următoarea repartizare a articolelor analizate:

— 182 din *cercetare*, în principal de la ICEMENERG, căruia îi urmează ICSITEE și apoi variate alte institute, ca I.C.P.E., și unele participări ocazionale ca a Institutului de Cercetări și Plante Tehnice — Fundulea, ICPMMN Baia Mare etc.;

— 79 din *învățământul tehnic superior*, în principal de la politehnicile din București și Timișoara, cărora le urmează la distanță politehnicile din Cluj și Iași, precum și Universitatea Brașov. Ocazional, articole au provenit și de la școli de subingineri;

— 65 din *proiectare*, în principal de la ISPE, căruia îi urmează la distanță ISPH.

Repartizarea pe grupe de specialități se prezintă astfel:

— Orientări în energetică: 17
— Energetica în unități economice: 34
— Dezvoltarea sistemelor energetice: 11
— Conducerea și automatica sistemelor energetice: 48
— Centrale termoelectrice: 113
— Centrale hidroelectrice: 9
— Centrale nuclearoelectrice: 4
— Rețele electrice: 55
— Alimentarea cu căldură: 37
— Surse și tehnologii noi: 37
— Chimia în energetică. Poluare: 20
— Istoria electrificării: 34
— Diverse: 19

Circa 10% din totalul articolelor a atras în mod deosebit atenția (a se vedea anexa). Ponderea diferitelor subiecte ale articolelor concordă aproximativ cu intensitatea preocupărilor de soluționare a problemelor energetice; sînt însă și neconcordanțe: deși au fost și preocupări importante în unele specialități acestea nu s-au reflectat îndeajuns în articolele publicate.

Articolele satisfac condițiile de rigurozitate științifică; unele au tratat chiar aspecte de știință pură (C. I. Staicu: *Remarce asupra teoremelor Fermat—Euler*; C. Brătianu: *Modelarea cu elemente finite a unui cîmp termic conductiv unidirectional*; C. I. Staicu: *Generalizarea concluziilor demonstrațiilor particulare ale teoremei Fermat*).

În perioada analizată împlinindu-se „100 de ani de energetică românească" (evenimentul a fost relevat tot prin stăruința dr. ing. Călin Mihăileanu) s-a realizat o consemnare a prezenței românești, în urmă cu un secol, în electricitate, prin mențiuni ale unor personalități cu reputație internațională (Walker Cisler, Marcel Boiteux, Zhao Qingfu, Arnaldo Angelini, András Lévai).

Autorii articolelor sînt în cea mai mare parte ingineri, în mică proporție matematicieni, rareori subingineri, în cîteva cazuri studenți. O parte dintre autori au colaborat ocazional; mulți sînt colaboratori permanenți, parte din ei dînd caracter de ciclu articolelor, în care se dezvoltă progresiv anumite teme de bază. Ca exemplu: în electroenergetică regimurile anormale au constituit un subiect de predilecție, de asemenea problemele energiei reactive și ale regimului deformant. Parte din articole se dovedesc perene, îndeosebi acelea care descriu realizări, dar multe au fost de interes limitat în timp. Stăruința unor specialiști într-un perimetru tehnic determinat a făcut ca autorii de articole de la ENERGETICA să devină autori de cărți cu conținut substanțial sau chiar inovatori.

Asemenea autori sînt:

— dr. docent ing. Paul Dimo cu mai multe cărți, dintre care unele traduse sau editate de la început în limbi străine;

— dr. ing. C. I. Staicu: *Analiza dimensională generală* (Editura Tehnică, 1976) și *Restricted and General Dimensional Analysis* (Abacus Press, Anglia);

— dr. ing. Eugeniu Pavel: *Elemente de analiza modernă a sistemelor electroenergetice interconectate* (Editura Tehnică, 1978);

— dr. ing. Hermina Albert: *Pierderi de putere și energie în rețelele electrice* (Editura Tehnică, 1984);

— ing. Alexandru Cogălniceanu: *Bazele tehnice și economice ale hidroenergeticii* (Editura Tehnică, 1986).

În cursul precedenților cinci ani s-au stins din viață specialiști de seamă, care au activat în energetică, ca de exemplu: Emil Prager, Remus Răduleț, Aurel Avramescu, Ion S. Antoniu, Radu Prișcu, Nicolae Moldoveanu, Constantin Rotaru și alții, cărora revista Energetica le-a adus un ultim omagiu.

Sinteza generală

În 35 de ani conținutul ENERGETICII a constat în principal din materiale avînd ca scop:

— informarea periodică a cititorilor cu desfășurarea electrificării țării, îndeosebi prin articole cu caracter aniversar;

— lărgirea orizontului energetic, îndeosebi prin dările de seamă asupra numeroaselor sesiuni tehnico-științifice ținute în țară și străinătate;

— adîncirea specializării prin articole monografice asupra variatelor realizări și progrese obținute;

— deschidere asupra perspectivei prin studii numeroase, care expun posibilități de noi rezolvări a unor probleme energetice;

— priviri istorice asupra unor evenimente energetice semnificative și oamenii care au participat la ele.

Prin structura conținutului său ENERGETICA aduce o contribuție substanțială la accentuarea profilării în specialitate a energeticienilor.

Eficiența ENERGETICII se poate extinde prin îmbogățirea cuprinsului cu următoarele:

— expuneri de orizont larg energetic;

— articole de cuprindere a tehnicii nucleare;

— monografii comentate ale obiectivelor energetice realizate;

— prezentarea echipamentelor energetice produse în țară, cu comentarii asupra comportării;

— problemele utilizării energiei electrice și căldurii îndeosebi în sectoare care nu au fost prezente în revistă, ca: industriile mari consumatoare, irigațiile, căile ferate electrificate etc.

1983

1. D. Cristescu ș.a. : *Aspecte privind comportarea LEA de 400 kV dublu circuit cu trei conductoare pe fază, din punctul de vedere al descărcării corona*, nr. 5, p. 235—238.
2. A. Drăguța : *Noi orientări în concepția gospodăriilor de cărbune aferente termocentralelor din R.S.R.*, nr. 10, p. 435—438.
3. L. Lup : *Participarea centralelor electrice din zonele excedentare la acoperirea sarcinilor din zonele deficitare, ținînd seama de capacitatea de transport a liniilor electrice*, nr. 10, p. 438—443.
4. Articolele apărute în nr. 12 care descriu sistemul informațional al M.E.E.

1984

1. Tr.-G. Ionescu, Liana Bilegan : *Proiectarea automată a rețelelor electrice de distribuție*, nr. 1, p. 30—40.
2. Gh. Ijac, Gh. Cepoiu, N. V. Boțan, M. P. Diaconescu, Gh. Savitescu, H. V. Zărnescu, C. Mihăileanu, D. M. Potlog : *Dispozitive și instalații de comandă, menținere în funcțiune și optimizare a unor procese ale sistemelor de acționare cu motoare sincrone. I. Dispozitive și instalația SINCROOPT I*, nr. 1, p. 25—29 ; II. *Instalația SINCROOPT, varianta a II-a*, nr. 2, p. 57—64 ; III. *Instalația SINCROOPT, varianta a III-a*, nr. 3, p. 101—110.
3. M. Stoian, V. Teodorescu, Vl. Vorobchievici : *Alegerea amplasamentului și concepției de plan general pentru centrala solaroelectrică experimentală de 1 MWe*, nr. 4, p. 173—176.
4. Mihai Rusu, Georgeta Rusu : *Detectarea automată a oscilațiilor de tensiune în cazul funcționării asincrone a sistemelor energetice*, nr. 6, p. 255—265.
5. Mircea Cârdu : *Caracteristicile unor turbine cu abur reprezentative construite în România*, nr. 7, p. 295—301.
6. Spiridon Dumitru : *Inventarierea micropotențialului hidroenergetic al cursurilor de apă din R.S.R.*, nr. 10, p. 471—480.
7. Eugeniu Pavel, Victor Romert : *Aspecte ale problematicii sistemelor electroenergetice. Situația actuală. Perspective*, nr. 10, p. 463—467.

1985

1. Eugeniu Pavel și Victor Romert : *Probleme actuale și de perspectivă ale sistemului electroenergetic românesc*, nr. 1, p. 36—41.
2. Lucia Roșca : *Centralele electrice pe bază de cărbune în prezentul și viitorul energiei românești*, nr. 3, p. 97—99.
3. Numărul 5, număr special *„Surse noi"*.
4. Numărul 4, număr special *„Chimia în energetică"*.
5. Eugeniu Pavel, Costin Rucăreanu : *Din istoria publicațiilor privind domeniile energeticii. Revista Energia*, nr. 6, p. 272—274.
6. Gheorghe Ionașcu : *Sisteme de conducere de la distanță a stațiilor electrice de transformare și conexiuni și mod de rezolvare a unora din implicații*, nr. 9, p. 405—411.
7. Radu Zane : *Scurtă istorie a rețelelor electrice din România*, nr. 10, p. 467—470.
8. * * * *Sarcinile energeticii românești la împlinirea unui secol de existență*, nr. 10, p. 433—436.
9. George Moraite, Andrei Cristovici, Anca Popescu, Ștefan Velicu : *Funcțiile automaticii centralizate din stația 750/400 kV Isaccea, corelarea cu automaticile din U.R.S.S. și R.P.B. și condițiile tehnice pentru aparatajul cu care trebuie realizată*, nr. 12, p. 540—545.
10. Silvia Ciobanu, Paul Duca, Elena Müller : *Aspecte privind soluția optimă de răcire pentru CNE Transilvania 5 × 700 MW*, nr. 12, p. 553—560.
11. Mircea Rădulescu : *Direcții de cercetare și rezultatele obținute privind perfecționarea tehnologiilor de ardere a lignitului și reducerea consumului de hidrocarburi suport de flacără la cazanele cu funcționare pe lignit din centralele electrice din R.S.R.*, nr. 12, p. 546—553.
12. Lucia Eugenia Roșca : *25 de ani de cercetare*, nr. 12, p. 529 — 531.

1986

1. Sebastian Ionescu, Octavian Gheorghe, Veronica Tetelbaum, Ion Arsene Badea, Ion Iftode : *Analiza comportării centralelor clasice și nucleare în regimuri tranzitorii provocate de perturbații ce conduc la abateri ale frecvenței și tensiunii în afara limitelor normale*, nr. 3, p. 107—115.
2. Constantin Budeanu : *Rolul fizic al mărimilor instantanee în fenomenele de conservare*, nr. 6, p. 277—281.
3. Alexandru Forje, Mihai G. M. Pop, Iulia Forje, Florian Predan, Dumitru Manea, Mircea Vlad, Maria Morariu, Doina Vlad : *Criterii privind dimensionarea energetică a ansamblului fenomenelor fizice întrunite într-un proces tehnologic industrial*, nr. 8, p. 237—242.
4. Masa rotundă : *Influența frecvenței sistemului energetic asupra funcționării centralelor electrice*, nr. 8, p. 267—275.
5. Victor Atanasovici : *Oportunitatea utilizării energiei electrice sau a combustibilului în instalațiile tehnologice, în contextul energetic al țării noastre*, nr. 9, p. 385—389.
6. Paul Dimo : *Metoda REI — de la procedurile aproximative ale calculului grafic la inventivitatea calculului numeric*, nr. 11, p. 487—494.
7. Constantin Brătianu : *Modele analitice și soluții pentru cîmpuri termice nelineare*, nr. 12, p. 529—534.

1987

1. Mircea Rădulescu, Anton Roșu : *Îmbunătățirea instalației de măcinare și ardere a lignitului la cazanul blocului de 330 MW*, nr. 2, p. 65—72.
2. Paul Emil Rașcu : *Transportul energiei electrice în Republica Socialistă România la cea mai înaltă tensiune alternativă utilizată industrial în lume. Stația de transformare 750/400 kV Isaccea*, nr. 4, p. 170—181.
3. Hermina Albert : *Aspecte privind indicatorii de siguranță în condiții de deficit de putere și energie electrică*, nr. 5, p. 198—200.
4. Pavel Buhuș, Gheorghe Comănescu : *Eficiența economică a tranzitului de putere reactivă prin linii de distribuție aflate în exploatare*, nr. 5, p. 219—222.
5. Călin Mihăileanu : *Ce este energetica?*, nr. 5, p. 228.
6. Hermina Albert, Anca Mihăilescu : *Unele probleme privind determinarea și normarea consumului propriu tehnologic în rețele*, nr. 6, 272—275.

СОДЕРЖАНИЕ

ЖУРНАЛУ „ЭНЕРГЕТИКА" ИСПОЛНЯЕТСЯ 35 ЛЕТ

МНЕНИА СПЕЦИАЛИСТОВ 4—7

ЛУЧИА РОШКА: Актуальные проблемы румынской энергетики 8—11

НОВЫЕ ИСТОЧНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ

ЖУЛЬЕТА ФЛОРЯ, ВАСИЛЕ НИТУ: Возобновляемые энергии. Современное состояние, тенденции на будущее 12—17

ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

МИРЧА КЫРДУ: Развитие производства паровых турбин для рекуперации промышленных ВЭР 18—21

АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

ПАУЛ ЭМИЛ РАШКУ: Некоторые основные энергетические проблемы сооружения атомных электростанций. Используемые электрические схемы высокого напряжения. Положение за рубежом 22—32

НАПРАВЛЕНИЕ В ЭНЕРГЕТИКЕ

ВАСИЛЕ НИТУ: Концептуализация надежности и готовности, с применением в энегетике 33—38

ИСТОРИЯ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ

ПАУЛ КАРТИАНУ: 35 лет: люди и события 39—45

НОВОСТИ

ИЗ МИРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ 21, 32, 38

INHALT

DIE ZEITSCHRIFT „ENERGETICA" AM 35. JAHRESTAG

MEINUNGEN DER FACHLEVTE 4—7

LUCIA ROŞCA: Aktuelle Fragen der rumänischen Energiewirtschaft 8—11

NEUE ENERGIEQUELLEN UND -VERFAHREN

JULIETA FLOREA, VASILE NITU: Rückgewonnene Energien. Der gegenwärtige Stand und Zukunftsaussichten 12—17

WÄRMEKRAFTWERKE

MIRCEA CÂRDU: Die Entwicklung der Herstellung der Dampfturbinen für die Rückgewinnung der wiederverwendbaren Energiequellen aus der Industrie 18—21

KERNKRAFTWERKE

PAUL EMIL RAŞCU: Einige energiewirtschaftliche Hauptfragen zum Bau der Kernkraftwerke. Die angewandten Hochspannungsdiagramme. Die Situation weltweit 22—32

ENTWICKLUNGSRICHTUNGEN IN DER ENERGIEWIRTSCHAFT

VASILE NITU: Die Konzepte — Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit — ihre Anwendung in der Energiewirtschaft 33—38

DIE GESCHICHTE DER EINFÜHRUNG DER ELEKTRIZITÄT

PAUL CARTIANU: Menschen und Ereignisse in den 35 Jahren seit der Erscheinung der Zeitschrift „Energetica" 39—45

NEUIGKEITEN

DIE ENERGIEWIRTSCHAFT WELTWEIT 21, 32, 38

SOMMAIRE

LA REVUE „ENERGETICA" FETE SON 35 ANNIVERSAIRE

OPINIONS DES EXPERTS 4—7

LUCIA ROŞCA: Problèmes actuels de l'énergie en Roumanie 8—12

NOUVELLES SOURCES ET TECHNOLOGIES ENERGETIQUES

JULIETA FLOREA, VASILE NITU: Les énergies renouvelables. La situations actuelle et les tendances de l'avenir 12—17

CENTRALES THERMIQUES

MIRCEA CÂRDU: Le développement de la fabrication des turbines à vapeur afin de recupérer les ressources énergétiques réutilisables de l'industrie 18—21

CENTRALES NUCLEAIRES

PAUL EMIL RAŞCU: Quelques problèmes énergétiques fondamentaux concernant la construction des centrales nucléaires. Les schémas électriques de haute tension utilisés. La situation dans le monde 22—32

ORIENTATIONS DES POLITIQUES ENERGETIQUES

VASILE NITU: Les concepts de fiabilité et de disponibilité et leur application en énergétique 33—38

L'HISTOIRE DE L'ELECTRIFICATION

PAUL CARTIANU: Personnalités et événements marquants dans les 35 ans depuis l'apparition de la revue „Energetica" 39—45

NOUVEAUTES

DE L'ENERGETIQUE MONDIALE 21, 32, 38

CONTENTS

THE REVIEW "ENERGETICA" AT ITS 35. ANNIVERSARY

EXPERTS OPINIONS 4—7

LUCIA ROȘCA : Present Items of Romanian Energy Policy 8—11

NEW ENERGY SOURCES AND TECHNOLOGIES

DC 621—68

JULIETA FLOREA, VASILE NITU : Regenerable Energy Sources. The Present Situation and Future Trends

The article, based on a rich documentation, presents a synthesis of the state of art of the regenerative energies turning into account, of the research conducted both in our country and worldwide and of the future trends.

The analysis leads to the objective necessity of carrying on the research in order to promote the competitive technologies for the regenerative energies turning into account.

Furthermore, consideration is being given to improving the available methods, to the development of the strategies that must be followed for the regenerative energies turning into account and last but not least, to intensifying the research in our country.

[Energetica 36 (1988), nr. 1, p.12—17]

THERMAL POWER PLANTS

DC 621.311.22/23 : 621.165

MIRCEA CÂRDU : Manufacturing Progresses in Steam Turbines Used for Industrial Re-usable Energy Sources Recovery

The paper presents the main technical data of steam turbines presently manufactured or to be manufactured in Romania for re-usable energy sources recovery installations in the metal working, chemical, wood processing and construction materials industries.

The fuel savings calculated for the turbines manufactured so far as well as the estimated savings for all these types of turbines needed further in the Romanian industry are outlined.

[Energetica 36 (1988), nr. 1, p. 18—21]

NUCLEAR POWER PLANTS

DC 621.311.25: 621.039.002.2

PAUL EMIL RAȘCU : Main Energy-Related Problems at the Nuclear Power Plant Construction. High Voltage Diagrams Used. The Worldwide Situation

The paper analyzes the solution working out manner of basic electric energy-related problems occuring at the nuclear power plant construction, i.e. :

— the nuclear power plant unitary power choice as well as that of the nuclear units number on the same location ;

— the electrical supply diagram of eigenservices' consumers ;

— the electric diagram of the substation for feeding electricity into the grid.

At the same time, the solutions to the related problems applied at the Nuclear Power Plant Cernavodă are comparatively mentioned enabling to state their congruence or incongruence to the generally adopted trend.

[Energetica 36 (1988), nr. 1, p. 22—32]

TRENDS IN ENERGY POLICY

DC 620.9: 621.3.019.3

VASILE NITU : The Concepts — Reliability and Availability — Their Application in Energy

The paper synthesizes the theoretical and practical experience of the Romanian reliability school and presents against this background the actions, concepts, principles, methods and systems, in a unitary approach, which determine the concepts reliability and availability planned by design. In the second part the paper presents the concept availability indicating the ways and means which condition it.

[Energetica 36 (1988), nr. 1, p. 33—38]

THE HISTORY OF ENERGY

PAUL CARTIANU : People and Events in the 35 Years of Publication of the Review "Energetica" 39—45

NEWS

ENERGY WORLDWIDE 21, 32, 38

COLEGIUL DE REDACȚIE

Redactori responsabili adjuncți : **dr. ing. Mihai G. M. Pop, dr. ing. Gheorghe Bălan, ing. Radu Opincaru**

Secretar de redacție : **dr. ing. Eugeniu Pavel**

Gestiune financiară : **ec. Monica Livezeanu**

Orientări în energetică : **dr. ing. Mario Duma**

Energetica în unități economice : **ing. Ion Măiereanu, ing. Alexandru Florescu**

Dezvoltarea sistemelor energetice : **dr. ing. Nicolae Armencoiu, dr. ing. George Manolescu**

Conducerea și automatica SE : **dr. ing. Victor Romert, dr. ing. Jean Constantinescu**

Centrale termoelectrice : **conf. dr. ing. Costin Moțoiu, ing. Romeo Zbarcea, dr. ing. Teodor Popa**

Centrale hidroelectrice : **dr. ing. Gheorghe Luca**

Centrale nuclearoelectrice : **ing. Adrian Georgescu, prof. dr. ing. Nicolae Dănilă**

Rețele electrice : **ing. Dinu Voinea, ing. Nicolae Georgian**

Alimentare cu căldură : **ing. Nicolae Niculescu**

Surse și tehnologii noi : **ing. Constantin Popescu**

Tehnologii chimice în energetică. Poluare : **dr. chim. Maria Maftei**

Organizarea producției și a muncii : **ing. Miron Popescu**

Terminologia energetică : **dr. ing. Teodor Popa, dr. ing. Iosif Cserveny**

Istoria electrificării : **ing. Paul Cartianu**

Noutăți : **ing. Mihai Nistor, ing. Romulus Sfichi**

Centre universitare și industriale :
București : **conf. dr. ing. Alexandru Selischi**
Iași : **prof. dr. ing. Alexandru Poeată**
Timișoara : **prof. dr. ing. Viorel Negru**
Cluj-Napoca : **conf. dr. ing. Silviu Darie**

Acest număr a fost realizat cu concursul următorilor secretari de grupe de specialitate :

— **ing. Florin Popovici** — Orientări în energetică
— **ing. Anton Roșu** — Centrale termoelectrice
— **ing. Călin Teodorescu** — Centrale nuclearoelectrice
— **ing. Ion Turcu** — Surse și tehnologii noi

Revista „ENERGETICA" este editată și administrată de Institutul de Cercetări și Modernizări Energetice prin Oficiul de Informare Documentară pentru Energetică.
Vasile Pleșca — șef OIDE, **Ana Maria Chivu** — redactor

Revista ENERGETICA — publicație lunară, reflectă preocupările spirituale și realizările materiale în domeniul energeticii.

Funcționează în conformitate cu ROF aprobat cu ordinul nr. 165/1984, publicat în nr. 4/87 al revistei.

Elaboratorii de lucrări propuse pentru publicare sînt rugați să se orienteze după îndrumările și Ghidul publicate în Energetica 12/986 și după planul tematic publicat în nr. 6/986.

Instituțiile pot achita abonamentele în contul de virament nr. 30.11.8.01.01 — BN R.S.R. Fil. Sector 3. Costul unui abonament : 144 lei anual ; costul unui exemplar : 12 lei.

41 401

ANNOUNCEMENTS FOR READERS ABROAD

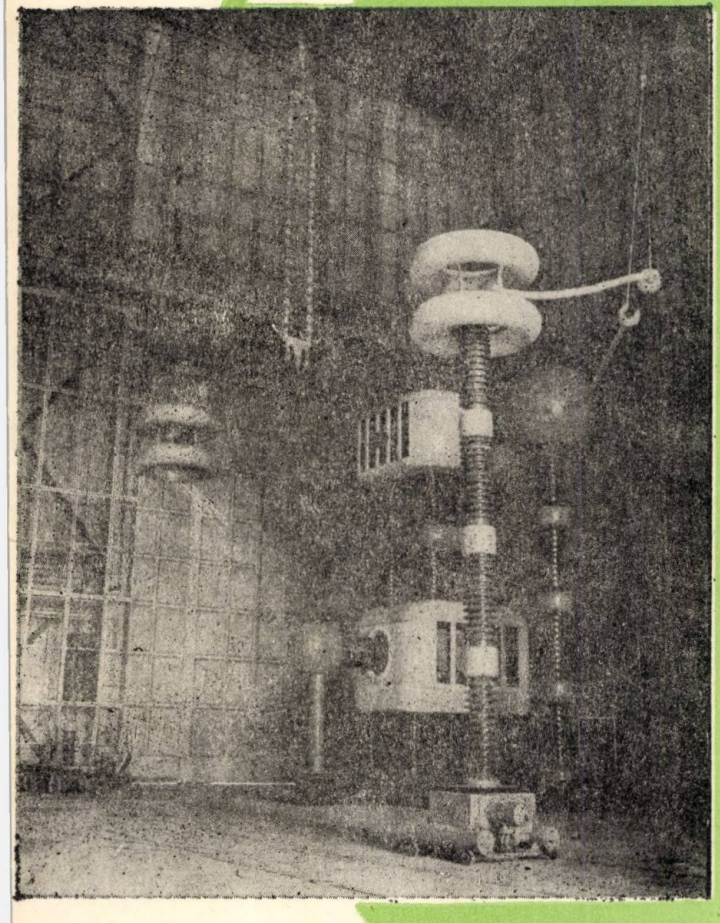
- **The review "Energetica" can send on request from publications abroad reports translated in one of the worldwide spoken languages**
- **The review "Energetica" proposes a publication exchange with similar reviews and in relating field**
- **The review "Energetica" provides and publishes or introduces books on energy received at the editorial office. Reviews and presentations of books sent on this purpose to the editorial office can be published as well**
- **The review "Energetica" publishes on request from authors abroad reports of energy or other materials : technical and scientific news, inventions-innovations, information about technical and scientific symposia, etc. written in one of the worldwide spoken languages**
- **Readers from abroad can subscribe through : ROMPRESFILATELIA — sectorul import-export, P. O. Box 12—501 telex 10376 prsfir, Calea Griviței nr. 64—66, București — România.**

Redacția și administrația : București 79619, Bd. Energeticienilor nr. 8, sect. 3
Telefon : 20.67.30, 21.46.30

Tiparul : Întreprinderea Poligrafică „Informația, București
str. Brezoianu 23—25 c. 1809

ORSZÁGOS MŰSZAKI INFORMÁCIÓS KÖZPONTI KÖNYVTÁR 1983

ICEMENERG



Secţia de echipamente şi materiale electroenergetice (SEM) împreună cu Atelierul de service pentru tehnica tensiunilor înalte (ASTTI) în strînsă colaborare cu unităţile din cadrul CIRE execută :

Cercetări privind :

. coordonarea izolaţiei ,
. noi structuri izolante ;
. supratensiunile interne şi atmosferice în reţelele electrice de 10 - 750 kV ;
. tehnologii de mentenanţă şi tratare a izolaţiei în exploatare ;

realizarea de instalaţii complexe specializate mobile sau fixe privind tratarea, încercarea şi regenerarea izolaţiei sau a echipamentelor de înaltă tensiune din exploatare.

Probe şi măsurători speciale privind :

. încercarea echipamentelor de pînă la 750 kV ,
. verificarea în vederea punerii în funcţiune a instalaţiilor de 750 kV ;
. repararea şi verificarea descărcătoarelor şi a unor treceri izolate ;
. probe şi analize speciale la echipamentele de joasă şi înaltă tensiune în fazele de omologare, recepţie şi comportare în exploatare.

URMECO

8 ANI DE EXPERIENȚĂ ÎN DOMENIUL ANALIZEI ȘI **URM**ĂRIRII **MER**SULUI **ECO**NOMIC AL CENTRALELOR TERMOELECTRICE UTILIZÎND TEHNICI DE PROGRAMARE ȘI PRELUCRARE AUTOMATĂ A DATELOR

SISTEMUL INFORMATIC URMECO — UN INSTRUMENT UTIL CARE DETERMINĂ

corect,

rapid,

precis,

comparabil între centrale periodic (lunar, decadal etc.)

– CONSUMURILE SPECIFICE DE COMBUSTIBIL PENTRU PRODUCEREA ENERGIEI ELECTRICE ȘI TERMICE.

– ABATERILE NOMINALIZATE DE LA FUNCȚIONAREA NOMINALĂ, LOCALIZATE PE CAUZE ȘI AGREGATE.

EFECTE ECONOMICE:

- **Reducerea consumurilor specifice, pentru producerea energiei electrice ca urmare a micșorării valorilor abaterilor cu cca. 2% ;**
- **Reducerea cheltuielilor de producție pe baza micșorării consumului de combustibil ;**
- **Reducerea importului de hidrocarburi la nivel SEN, prin:**

  Stabilirea în exploatare a unor măsuri operative, care să conducă la funcționarea economică a centralei.

SE APLICĂ:

În exploatare curentă la :

- **centralele termoelectrice : ROVINARI, TURCENI, MINTIA, DOICEȘTI, IERNUT și FINTINELE**
- **Centrale electrice de termoficare : BUCUREȘTI-SUD, BORZEȘTI, ONEȘTI, ORADEA, IAȘI și PITEȘTI-SUD**

În curs de implementare : CET GIURGIU și GOVORA

În curs de finalizare a generalizării la nivel CIPEET

CONTINUĂ PERFECȚIONARE PRIN:

- **ULTIMELE NOUTĂȚI METODOLOGICE**
- **EXTINDERE CU NOI FACILITĂȚI**
- **ADAPTAREA LA MINICALCULATOARE (SISTEMUL URMECO–I)**
- **CU POSIBILITĂȚI DE EXPLOATARE ON-LINE ȘI OFF–LINE**

URMECO—I ESTE ÎN EXPLOATARE CURENTĂ LA I.E. TURCENI, URMÎND SĂ FIE GENERALIZAT LA RESTUL DE CENTRALE DOTATE CU MINICALCULATOARE

ICEMENERG

ICEMENERG

Bd. ENERGETICIENILOR 8 ● SECTORUL III
79619 BUCUREȘTI ● Tel. 214630 ; 206730
Telex : ICEMENERG 10783 ● CONT: 30.11.8.01.01
BNRSR Filiala Sector III BUCUREȘTI

LABORATORUL DE PROGNOZĂ INFORMATICĂ, CONDUCERE ȘI ECONOMIE ENERGETICĂ

LABORATORUL DE TURBINE ȘI CICLURI TERMICE

E 2039

ETE

Referálva

1988 JUN 2.31

MW

2

35 ANI DE APARIȚIE

Cuprins

ORIENTĂRI ÎN ENERGETICĂ

EUGENIU PAVEL, MANFRED STEIN, FLORIN MIHĂILESCU: **Conceptul de fiabilitate în studiile de dezvoltare a sistemelor energetice** 49

DEZVOLTAREA SISTEMULUI ENERGETIC

PERSIDA IANCOVICI: **Posibilități de evaluare a nivelului real de siguranță în acoperirea consumului de energie electrică al sistemului energetic** 54

CONDUCEREA ȘI AUTOMATICA SISTEMULUI ENERGETIC

MIHAI MOGA, ADRIAN BUTA, CORNELIA IVAȘCU, LIVIU MILEA: **Determinarea experimentală a caracteristicilor statice de putere funcție de tensiune ale consumatorilor complecși** 56

CENTRALE NUCLEAROELECTRICE

PAUL EMIL RAȘCU: **Echipamentele electrice principale și amplasamentele stațiilor electrice de înaltă tensiune ale centralelor nuclearoelectrice. Situația pe plan mondial** 32

REȚELE ELECTRICE

NICOLAE GAVRILAȘ, MIRCEA GUȘĂ, ADRIAN BARABOI: **Asupra unor mijloace moderne de protecție a instalațiilor electroenergetice împotriva supratensiunilor** 73

ILIE POPESCU, DUMITRU BĂRBULESCU, NICOLAE SUFLEȚEL, IUSTINA ZAHARIA: **Asupra determinării puterii și energiei active disipată în rețele electrice neramificate care alimentează receptoare neliniare** 81

GLEB DRĂGAN, MARILENA UNGUREANU, GHEORGHE MĂGUREANU: **Consumurile specifice de putere activă și de energie la liniile de 400 kV datorate descărcării corona** 85

SURSE ȘI TEHNOLOGII NOI

DUMITRU TEACI, NICOLAE HURDUC, CORNELIA SCUTARU, MIHAI IBĂNESCU: **Problemele actuale și de perspectivă ale utilizării surselor de energie fosilă și reînnoibilă în agricultura României** 90

NOUTĂȚI

RECENZII 53, 61

VOLUMUL XXXVI

BUCUREȘTI

FEBRUARIE 1988

energetica

ROMELECTRO

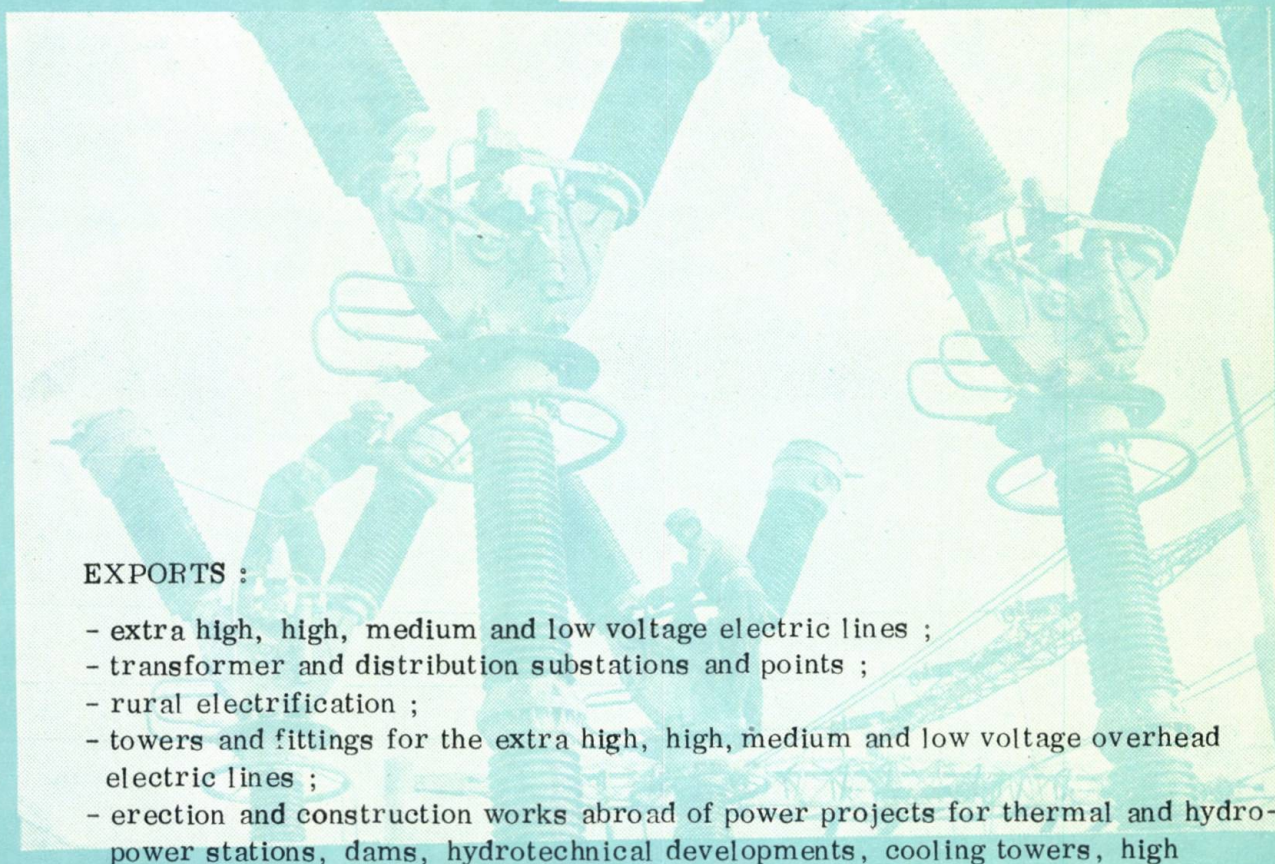
Foreign Trade Company

60 Calea Dorobantilor

Bucharest - Romania
POBox : 1-736
Telex : 10449 roel r

Cable : Romelectro Bucharest
Telephones : 112170 ; 119170

Romelectro Foreign Trade Company carries out services in the power field ranging from studies and designs up to projects commissioning.



EXPORTS :

- extra high, high, medium and low voltage electric lines ;
- transformer and distribution substations and points ;
- rural electrification ;
- towers and fittings for the extra high, high, medium and low voltage overhead electric lines ;
- erection and construction works abroad of power projects for thermal and hydropower stations, dams, hydrotechnical developments, cooling towers, high chimneys, etc.
- specific apparata for construction, erection and operation, equipment and spare parts for the power field ;
- auxiliary installation for electric power stations ;
- licences, feasibility reports, studies, designs, engineering, technical assistance, experts reports in the power field ;
- trolley-bus city transport ;
- general foreign supplier for construction-erection jobs carried out abroad ;
- transit of electric power ;
- training of foreign staff

IMPORTS :

- complex power installations and equipment for thermo and hydropower generating plants ;
- specific equipment and components for the power field, relevant spare parts included ;
- equipment, apparata and materials for the erection of high, medium and low voltage lines and for turn-key deliveries.

ENERGETICA

ORGAN AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE ŞI AL CONSILIULUI NAŢIONAL AL INGINERILOR ŞI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

SUB ÎNDRUMAREA CONSILIULUI ŞTIINŢIFIC AL INSTITUTULUI CENTRAL DE CERCETĂRI ENERGETICE

ANUL 36 Nr. 2 Februarie 1988

MŰSZAKI INFORMÁCIÓS KÖNYVTÁR ORSZÁGOS

Orientări în energetică

Conceptul de fiabilitate în studiile de dezvoltare a sistemelor energetice

Dr. ing. Eugeniu Pavel, ing. Manfred Stein, ing. Florentina Mihăilescu*

Descriptori: fiabilitate, sisteme electroenergetice

1. Siguranţa în funcţionare constituie unul din factorii principali în activităţile de concepţie, realizare şi exploatare a sistemelor electroenergetice. Deşi continuitatea în alimentarea consumatorilor de energie electrică a constituit întotdeauna o preocupare de bază a planificatorilor unui sistem energetic, se constată în ultimii ani o tendinţă, pe plan mondial, de dezvoltare a unor metodologii de calcul care să permită evaluarea *cuantificată* a nivelului de siguranţă în funcţionare. Noţiunea de „fiabilitate", utilizată într-un trecut nu prea îndepărtat doar la cuantificarea siguranţei în funcţionare a unor dispozitive, aparate sau sisteme tehnice produse în fabrici, în special în aviaţie, electronică şi tehnică militară, a pătruns şi în domeniul de activitate al planificatorilor de sisteme energetice, deşi, aşa cum se va arăta, în acest domeniu există anumite particularităţi de care trebuie să se ţină seama.

Criteriile după care se face dimensionarea şi stabilirea structurii unui sistem electroenergetic sînt în ţara noastră foarte asemănătoare celor din alte ţări cu energetică dezvoltată. Unele diferenţe care apar în diferite ţări aparţin în general domeniului indicatorilor de fiabilitate (siguranţă) urmăriţi [1,2,3].

2. Pe lîngă alte caracteristici care definesc calitatea unui element, dispozitiv sau sistem tehnic, *fiabilitatea* este considerată astăzi drept una dintre caracteristicile cele mai importante.

Fiabilitatea se defineşte ca fiind aptitudinea unui element, dispozitiv sau sistem tehnic de a-şi îndeplini o funcţiune specificată în condiţii date, de-a lungul unei perioade de timp $(0, t)$.

Din punct de vedere matematic aceasta se exprimă prin *probabilitatea* ca un element, dispozitiv sau sistem tehnic să-şi îndeplinească funcţiunea specificată fără întrerupere, într-un interval de timp dat $(0,t)$.

În cazul specific al sistemelor energetice în ansamblu — sisteme deosebit de complexe — noţiunii de fiabilitate trebuie să i se afecteze o interpretare mai cuprinzătoare, incluzînd noţiunile de „siguranţă", „securitate" etc. De altfel, indicatorii caracteristici definitori funcţio-

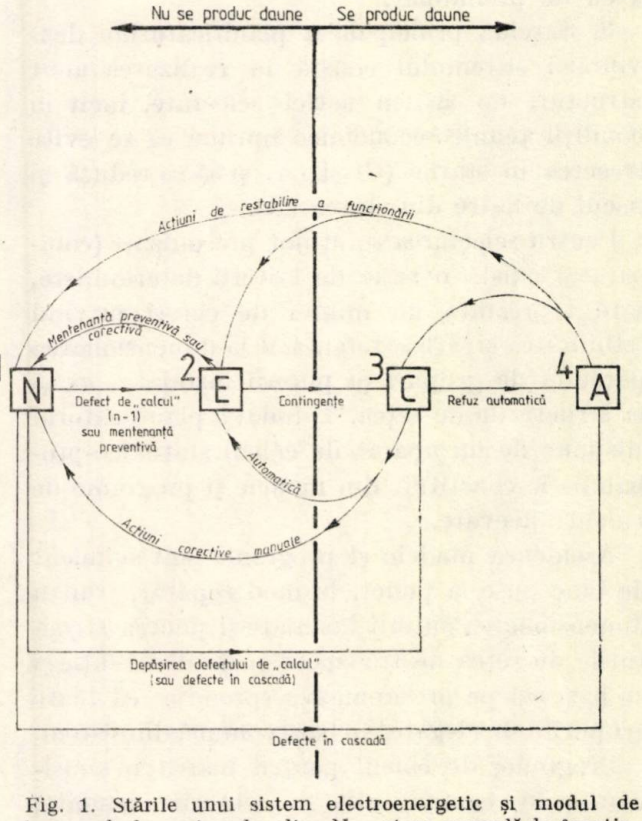


Fig. 1. Stările unui sistem electroenergetic şi modul de trecere de la o stare la alta: N — stare normală de funcţionare; E — stare expusă; C — stare critică; A — stare de avarie.

* Dr. ing. Eugeniu Pavel — ICCE, ing. Manfred Stein, ing. Florentina Mihăilescu — Institutul de Studii şi Proiectări Energetice Bucureşti.

nării sistemelor energetice sînt diferiţi şi nu se rezumă numai la probabilitatea funcţionării fără defecţiuni.

Totodată, în cazul sistemelor energetice nu se operează numai cu mărimi aleatorii, ci şi cu criterii deterministe care caracterizează încă într-o măsură importantă fiabilitatea acestora.

În figura 1 se prezintă stările prin care poate trece un sistem energetic şi modul de trecere între ele, cele mai frecvent întîlnite (se pot realiza şi alte moduri de trecere, însă puţin frecvente).

Noţiunea de „securitate" defineşte capacitatea ca sistemul să supravieţuiască unor defecte importante (declanşări în cascadă, instabilitatea tensiunii sau a puterii, pierderea stabilităţii statice sau dinamice), iar noţiunea de „siguranţă" caracterizează capacitatea sistemului de a nu intra în stare critică.

De regulă, în stările (N) şi (E) nu trebuie să se producă daune consumatorilor sau consecinţe de ordin social-economic. În stările (C) şi (A) se produc, de regulă, daune care depind şi de evoluţia sistemului din această stare. Pe cînd daunele care se produc prin trecerea din starea (E) în (C) pot fi, în general, evaluate cu ajutorul calculelor probabilistice, acelea care se produc la depăşirea acestei stări sînt foarte greu de preliminat.

3. Sarcina principală a planificatorilor dezvoltării sistemului constă în realizarea unor structuri de sistem astfel selectate, încît în condiţii tehnico-economice optime să se evite trecerea în stările (C) şi (A) şi să se reducă şi riscul de ieşire din starea (N).

Pentru selectarea soluţiilor preconizate (comparate) există o serie de criterii deterministe, care reprezintă un minim de cereri privind fiabilitatea şi care se referă atît la dimensionarea parcului de grupuri (a puterii instalate), cît şi la structurile de reţea. Totodată, planificatorul dispune de un aparat de calcul statistico-probabilistic constituit din modele şi programe de calcul adecvate.

Asemenea modele şi programe sînt suficient de bine puse la punct, în mod separat, pentru dimensionarea puterii instalate şi pentru structurile de reţea de transport şi de distribuţie şi se bazează pe presupunerea (premisa) că toate grupurile sînt legate la o bază comună din sistem.

Programe de calcul pentru luarea în considerare în comun atît a puterii instalate, cît şi a structurilor de reţea, deşi există, se găsesc încă în faza de perfecţionare

În consecinţă, planificarea dezvoltării se realizează şi în prezent, atît în baza unor criterii deterministe, cît şi în baza unor calcule statistico-probabilistice.

Domeniile principale care fac obiectul utilizării celor două categorii în dimensionare, se prezintă, sintetic, în figura 2, iar principiile generale de dimensionare sînt prezentate în figura 3.

Este importantă abordarea probabilistică a dimensionării sistemului în vederea evaluării cît mai corecte a riscului intrării în starea (C) (critică) (vezi fig. 2), deoarece se constată că riscul intrării în această stare din starea (E) poate fi foarte diferit, în funcţie de soluţie, chiar dacă s-a respectat în toate cazurile criteriul „$n - 1$" (determinist).

Exemplu:

Fie o legătură realizată între două puncte ale unui sistem prin două LEA, fiecare putînd vehicula 100% din puterea maximă. Criteriul „$n - 1$" este deci satisfăcut.

Probabilitatea stării (C), critice, corespunzătoare defectării ambelor circuite va fi $P_I = q^2$, iar rata trecerilor în această stare $\Lambda_1 = 2\,pq\lambda$, unde p este probabilitatea stării de succes, q — probabilitatea stării de insucces, λ — intensitatea de avarie.

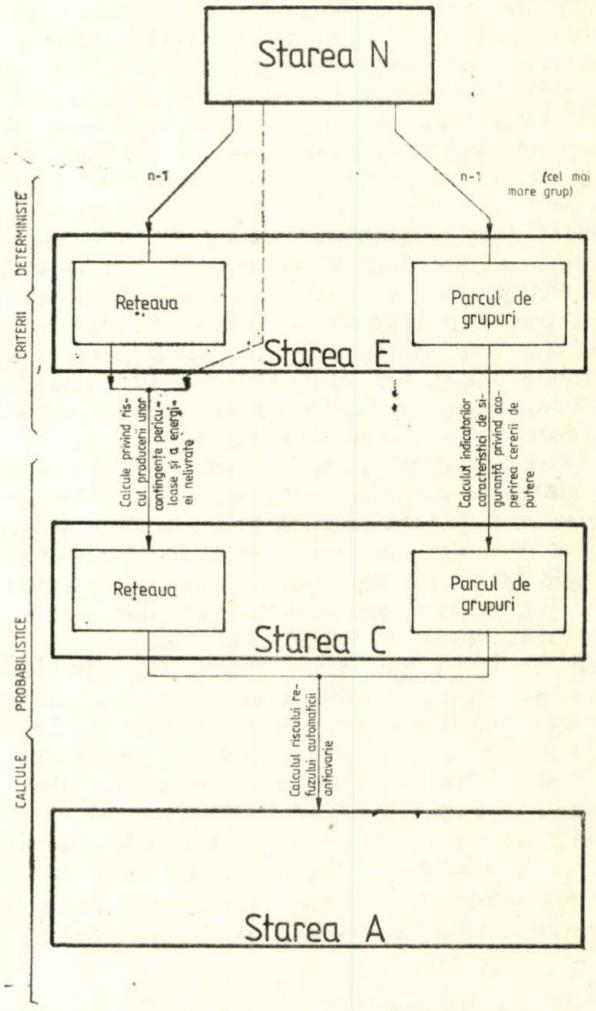


Fig. 2. Criterii şi categorii de dimensionare a sistemelor electroenergetice.

Dacă între aceleaşi două puncte ale sistemului sînt realizate trei LEA, fiecare cu o capacitate de transport de 50% din puterea maximă vehiculată, criteriul „n — 1" este, de asemenea, satisfăcut. În acest sens probabilitatea stării (C) va fi: $P_{II} = 3pq^2 + q^3$, iar rata de trecere va fi $\Lambda_2 = 3p^2q\lambda$. Pentru valorile uzuale ale lui $(p = 1 - q)$ pentru LEA $P_{II} > P_I$ şi $\Lambda_1 < \Lambda_2$ diferenţele pot fi considerabile.

Deci, în condiţiile respectării aceluiaşi criteriu „$n - 1$", probabilităţile de trecere din starea E în starea C (fig. 1) pot fi diferite şi în consecinţă şi daunele care se produc, diferă.

Rezultă din acest exemplu simplu importanţa utilizării calculelor probabilistice cu scopul selectării soluţiilor celor mai avantajoase.

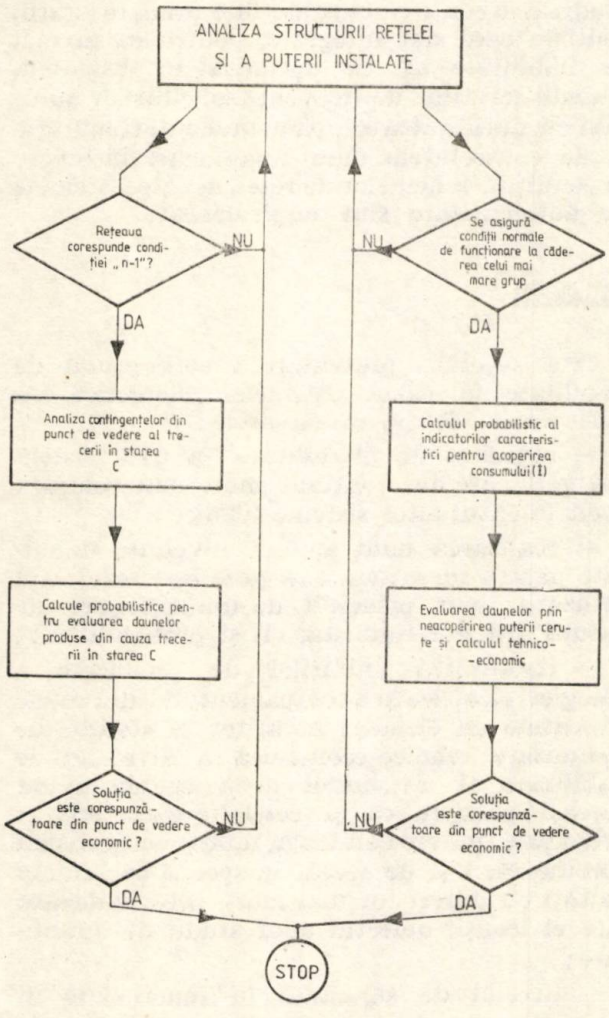


Fig. 3. Principii generale de dimensionare a sistemelor electroenergetice.

În figura 3 se prezintă desfăşurarea principalelor operaţii care se parcurg în activitatea de planificare a dezvoltării sistemului şi locul calculelor probabilistice şi al criteriilor deterministe în acest cadru.

Indicatorii caracteristici „I" (fig. 3) care definesc siguranţa unui sistem sînt diferiţi în funcţie de practica din ţara respectivă. În unele cazuri sînt urmăriţi mai mulţi indicatori simultan. Printre principalii indicatori de acest tip se citează:

a — probabilitatea de a nu fi acoperită puterea de vîrf, într-un an;
b — frecvenţa de neacoperire a vîrfului de sarcină pe an;
c — durata neacoperirii vîrfului de sarcină pe an;
d — energia nelivrată (sau raportul între aceasta şi energia cerută — „grad de asigurare").

În ţara noastră se utilizează indicatorul de la pct. d, a cărei valoare este optimizată prin condiţii tehnico-economice şi în cadrul cărora este inclusă şi valoarea daunelor produse consumatorilor prin neacoperirea cererii de energie.

Valorile prescrise pentru indicatorii de mai sus sînt de natură conjuncturală, variind în timp chiar pentru etape relativ scurte. În afara acestor indicatori, care se referă la sistemul în ansamblu, deci la întreruperi sau limitări ale livrării de energie datorită măsurilor prevăzute pentru ieşirea sistemului din starea „C" (fig. 1), se calculează, pentru anumite tipuri de consum, şi alţi indicatori specifici condiţiilor de funcţionare ale consumatorului respectiv (de exemplu: numărul şi durata medie de întreruperi, numărul mediu de întreruperi a căror durată depăşeşte o anumită valoare critică etc.). Aceşti indicatori servesc la optimizarea soluţiilor de alimentare cu energie electrică, ţinîndu-se seama de consecinţele nefurnizării energiei în fiecare caz în parte şi de aceea nu trebuie confundaţi cu indicatorii sintetici pentru sistemul în ansamblu.

4. Fiabilitatea echipamentelor determină în cea mai mare măsură atît alegerea structurii unui sistem în ansamblu, cît şi a instalaţiilor sale componente.

Din cele arătate anterior reiese că datele privind fiabilitatea echipamentelor nu influenţează criteriile deterministe de dimensionare, ci numai daunele corespunzătoare fiecărei structuri analizate.

Pentru grupurile generatoare parametrii de fiabilitate cei mai importanţi sînt: disponibilitatea şi coeficientul de avarie, iar pentru echipamentele din reţelele electrice: rata de defectare (intensitatea de defect) şi intensitatea de reparaţie.

Este necesară o corectă definire a noţiunii de „defect", deoarece echipamentele energetice prezintă în general mai multe mecanisme de defectare, fiecare dintre acestea avînd consecinţe, uneori foarte diferite pentru siguranţa şi securitatea sistemului.

Între fiabilitatea unui echipament şi costul acestuia (ca al instalaţiilor în ansamblu) există o relaţie de proporţionalitate inversă. Această relaţie este manifestată în special în cazul unităţilor de producere a energiei electrice,

care de altfel intervin cu o pondere mult mai mare decît rețelele electrice în cheltuielile pentru dezvoltarea unui sistem. Cu cît fiabilitatea unor grupuri generatoare va fi mai mare, cu atît mai mult va fi necesară instalarea unei puteri mai reduse pentru obținerea unui același „grad de asigurare".

In ultimul timp a apărut, în acest context noțiunea de „echivalent economic al disponibilității" (EED), care poate fi definit ca fiind valoarea cheltuielilor justificate pentru obținerea creșterii disponibilităților cu 1%. Valoarea se determină ținîndu-se seama de economiile realizate prin reducerea puterii instalate prin creșterea disponibilității grupurilor.

Asemenea aspecte devin din ce în ce mai importante datorită creșterii puterilor unitare ale unităților energetice și scăderii, în același timp, a fiabilității, precum și datorită scăderii calității combustibilului utilizat în centralele clasice.

Balansarea corectă cost-fiabilitate este în aceste cazuri (al unităților generatoare) o operație foarte importantă a planificatorilor sistemelor energetice.

În ceea ce privește echipamentele și instalațiile electrice, determinarea unor parametrii de siguranță este, cel puțin pentru unele dintre ele, o operație complexă. Astfel, pentru întrerupătoare, parametrii de siguranță care trebuie preliminați se referă la mai multe tipuri de mecanisme de defectare (cum sînt : defectarea în regim static de funcționare, în regim de manevră pe scurtcircuit, în gol etc.), deoarece consecințele pentru evoluția rețelei pot fi complet diferite.

În mod asemănător se prezintă situația la liniile electrice aeriene, care prezintă parametri diferiți de siguranță pentru diferite perioade ale anului, sau care pot prezenta defecte „comune", adică afectînd simultan mai multe circuite. Aceste aspecte sînt foarte importante pentru calculele fiabilistice care se efectuează pentru aprecierea „securității" sistemului, deoarece unele sînt tocmai acele tipuri care determină desfășurarea avariilor în cascadă.

Culegerea datelor statistice în vederea stabilirii unor valori cît mai reale ale parametrilor de siguranță este deci o activitate complexă, care trebuie să se găsească atît în atenția furnizorilor, cît și a utilizatorilor de echipamente.

Parametrizarea calculelor constituie unul din modurile de abordare a calculului probabilistic în cazul unor date incerte. Acest procedeu presupune însă elaborarea unor modele de calcul care, pe lîngă asigurarea unei exactități suficiente, să fie și relativ simple. În acest sens, analize de sensibilitate pot evidenția, de exemplu, renunțarea — în cazul calculelor probabilistice pentru rețelele electrice — la luarea în considerație a defectelor de ordin superior decît două simultane.

Chiar în această ipoteză simplificatoare, o secțiune de rețea constînd numai din 20 de elemente conduce la analiza a 210 stări.

Un alt obiectiv la fel de important pentru studiul riscurilor de trecere a sistemului în stare critică, sau din aceasta spre avarii generalizate, îl constituie fiabilizarea sistemelor de automatică antiavarie, incluzînd și canalele de teletransmisiuni aferente. Și aceste sisteme trebuie deci să facă obiectul unor analize fiabilistice în vederea stabilirii soluțiilor celor mai adecvate privind în primul rînd nivelul de rezervare (redondanță) în funcție de calitatea utilizată. Fiabilitatea acestor sisteme trebuie studiată în contextul instalațiilor primare (stații, linii) în care sînt integrate, pentru ca nivelul de fiabilitate să fie optimizat în ansamblu, ținîndu-se seama de frecvența solicitărilor automaticii, de calitatea echipamentelor de comutație și de consecințele unor funcționări incorecte în condițiile schemelor de rețea în care sistemele de automatizare sînt implementate.

Concluzii

Prin succinta prezentare a conceptului de fiabilitate în cazul sistemelor energetice s-a dorit a se evidenția următoarele :

— noțiunea de „fiabilitate" a unui sistem energetic are un conținut mult mai complex decît în cazul altor sisteme tehnice ;

— realizarea unui anumit nivel de fiabilitate pentru un sistem energetic este rezultatul utilizării unor principii de dimensionare de natură atît deterministă, cît și probabilistică ;

— fiabilitatea unităților de producere a energiei electrice și a echipamentului din rețele constituie un element hotărîtor în studiile de optimizare tehnico-economică a nivelului de fiabilitate al sistemului în ansamblu, avînd aceeași pondere ca și celelalte caracteristici principale (putere nominală, randament,consum specific etc.) și de aceea, în special pentru noi unități cu puteri tot mai mari, acest indicator face el însuși, obiectul unor studii de optimizare ;

— nivelul de siguranță în funcționare al unui sistem care este urmărit de planificator în studiile de dezvoltare, oricare ar fi indicatorii care îl definesc, este supus unor situații de natură conjuncturală și de aceea necesită reactualizări periodice ;

— fiabilitatea sistemelor de automatică antiavarie, constituie un factor a cărui importanță crește odată cu dezvoltarea unui sistem energetic și de aceea necesită analize speciale efectuate în condițiile specifice date, deoarece influențează direct și în cea mai mare măsură

capacitatea de supraviețuire (securitatea) a sistemului, caracteristica cea mai importantă care definește calitatea unui asemenea sistem.

Bibliografie

[1] EPRI, Workshop Proceedings: Power System Reliability — Research, Needs and Priorities, Oct. 1978.

[2] P a v e l, E., R o m e r t, V. *Aspecte ale problematicii sistemelor electroenergetice. Situația actuală. Perspective.* În: Energetica 32, 1984, nr. 10, p. 463—467.

[3] CIGRE, Working Group 37—06, Rapp. 37/38/39—07 Session Aug. 1986, Paris: Power System Reliability: The Planner's Approach.

[4] M.E.E. *Îndrumar privind identificarea stărilor critice și măsuri pentru limitarea extinderii avariilor*, PE 140—78.

[5] D o d u, I. C., M e r l i n, A. *New Probabilistic Approach Taking into Account Reliability and Operation Security in EHV Power System Planning at EdF.* În: IEEE Transactions on Power Systems, vol. I, nr. 3, 1986.

(Primit la 14 decembrie 1987, acceptat la 6 ianuarie 1988)

Recenzie

NITU, V. I. **Fiabilitate, disponibilitate, mentenanță în energetică.** Editura tehnică, București, 1987, 160 p.

Apărută relativ recent, noua lucrare a prof. dr. doc. ing. V. I. Nitu, continuă suita lucrărilor publicate de autor în domeniul fiabilității instalațiilor energetice, problemă de o deosebită actualitate în țara noastră și în lume.

Volumul la care ne referim este de o factură deosebită față de precedentele din cel puțin două motive: în primul rînd cartea se adresează unui cerc mult mai larg de specialiști, cu niveluri de pregătire diferite (care după părerea noastră începe cu maistrul de exploatare) și, în al doilea rînd, prin abordarea sistemică a fiabilității, disponibilității și mentenanței instalațiilor energetice ca un concept integrat.

Lucrarea, structurată pe 6 capitole, prezintă principalele aspecte legate de felul în care trebuie exploatate instalațiile energetice, în mod deosebit grupurile energetice de mare putere din CET, CTE și CNE, în vederea păstrării caracteristicilor constructive, a parametrilor de funcționare, la valori cît mai apropiate de cele inițiale. În primele trei capitole se expun bazele teoretice ale fiabilității, disponibilității și securității instalațiilor energetice, utilizîndu-se noțiuni ce implică un instrumentar matematic de teoria modelării probabilistice cu ajutorul cărora sînt definiți indicatorii de fiabilitate, disponibilitate și mentenanță ai instalațiilor energetice.

Pornind de la definiții și noțiuni elementare de modelare probabilistică ale proceselor fizice din instalațiile energetice, cititorul este condus în mod gradat (de la simplu la complex) către conceptul integrat al fiabilității, disponibilității și mentenanței, cu aplicații directe asupra modalităților optime de exploatare și întreținere a acestor instalații.

Este de subliniat expunerea clară, fără echivoc, a unor noțiuni de teoria probabilităților și statistică matematică (teoria mulțimilor, variabile aleatoare, funcție de repartiție, densitate de probabilitate, lanțuri Marcov etc.) într-o manieră simplă pe care chiar cititorul cu studii medii le poate înțelege și asimila cu ușurință.

Aceasta conferă lucrării calități deosebite, atît din punct de vedere tehnic, cît și didactic.

În capitolul 4 se prezintă principalele aspecte de concepție, organizare și eficiență ale disponibilității instalațiilor energetice: calculul indicatorilor de disponibilitate și indisponibilitate, premisele realizării acestor indicatori predeterminați prin proiectul instalațiilor și aspecte organizatorice ale activităților de exploatare menite să asigure nivelul disponibilității prediționate.

Capitolul 5 este rezervat legii entropiei aplicată sistemelor energetice la proiectarea și exploatarea acestora. Autorul opiniază pentru utilizarea acestei aplicații ca un criteriu complementar altor criterii de alegere a variantelor de proiectare a sistemelor energetice, în sensul adoptării acelor variante care prezintă și un nivel mai redus al entropiei. Asociat altor criterii și în final metodei cheltuielilor totale actualizate, criteriul producției minime de entropie scoate în evidență tendințele de intrare în stări anormale ale sistemelor energetice, reliefînd, în mod practic, influența pe care o au activitatea de mentenanță, nivelul de pregătire al personalului de exploatare etc.

În cadrul ultimului capitol al lucrării sînt prezentate aspecte și concluzii rezultate din experiența Comitetului mixt CME (Conferința Mondială a Energiei) și UNIPEDE (Uniunea Internațională a Producătorilor și Distribuitorilor de Energie) privind disponibilitatea centralelor electrice. Materialul informativ analizat în acest capitol introduce pe cititor într-o serie de date, deosebit de edificatoare, cu privire la rolul și importanța preocupărilor legate de problematica disponibilității grupurilor energetice de mare putere, în special în legătură cu trecerea la folosirea combustibililor inferiori și realizarea centralelor nucleare. În acest context se compară metodologia pentru determinarea disponibilității centralelor electrice din țara noastră cu cea folosită în alte țări și se trag concluzii cu privire la măsurile ce se recomandă a fi adoptate (cu caracter tehnic și organizatoric) în vederea creșterii performanțelor de fiabilitate, disponibilitate și mentenanță a instalațiilor energetice.

Plecînd de la faptul că fiabilitatea și disponibilitatea trebuie să devină o componentă fundamentală a concepției omului modern care-și desfășoară existența într-un mediu tot mai tehnicizat, măsurile recomandate vizează o gamă largă de acțiuni ce concordă cu formele de organizare din alte țări, dar în același timp reflectă realitățile din țara noastră, concepția proprie a sistemului energetic național.

Foarte bine documentată, lucrarea prof. dr. doc. ing. V. I. Nitu, cunoscut în țară și străinătate ca fondator al școlii românești privind fiabilitatea instalațiilor energetice, se adresează unui cadru larg de cititori care pot utiliza astfel cu succes teoria modelării probabilistice în aplicații energetice. Prin calitățile sale didactice și științifice lucrarea se constituie într-un veritabil manual de mare importanță atît pentru specialistul din exploatare, cît și pentru cel ce lucrează în sectorul de concepție și proiectare a instalațiilor energetice.

Toate acestea ne fac să apreciem că lucrarea se va bucura de o binemeritată primire în rîndul publicului cititor.

Ing. Romulus Sfichi

Posibilităţi de evaluare a nivelului real de siguranţă în acoperirea consumului de energie electrică al sistemului energetic

Ing. Persida Iancovici *

Descriptori: siguranţă, sisteme electroenergetice

Generalităţi

În practica planificării sistemelor energetice, puterea totală instalată a centralelor electrice şi respectiv rezerva de putere instalată care se asigură se stabilesc în funcţie de nivelurile de consum prognozate, de caracteristicile tehnice şi de siguranţă ale unităţilor energetice şi de riscul acceptat de neacoperire a consumului de putere şi energie electrică.

Nivelul acceptat de risc de neacoperire a consumului de energie electrică sau gradul de acoperire a consumului de energie electrică sînt fixate, pentru fiecare sistem energetic, prin normativele referitoare la planificarea dezvoltării sistemelor energetice, în cazul de faţă normativul PE — 026 [1]. În condiţiile obişnuite, funcţionarea atestă, de obicei, realizarea efectivă a nivelului de siguranţă al acoperirii consumului, considerat la planificarea sistemului energetic. Dacă însă condiţiile ce se realizează efectiv în SEN diferă mult de ipotezele adoptate la planificarea dezvoltării, fiind mult mai nefavorabile decît cele considerate iniţial, se poate ajunge la dezechilibre supărătoare între producţia şi consumul de energie electrică al sistemului energetic.

De cîţiva ani în sistemul nostru energetic asistăm la manifestarea unui crescînd dezechilibru între producţia şi consumul de energie electrică, ceea ce are serioase repercusiuni negative asupra întregii funcţionări a sistemului energetic şi asupra consumatorilor de energie electrică. Manifestările pregnante şi evidente ale deficitului de putere din SEN constau în :

- scăderea frecvenţei sub limita normală de 49,5 Hz ;
- aplicarea de limitări (L) şi sacrificii (S) de consum, pentru evitarea prăbuşirii frecvenţei sistemului şi a avariilor grave de sistem.

Faţă de situaţia existentă în sistemul nostru energetic, se consideră necesar un efort de mai bună cunoaştere şi remediere a situaţiei, în cadrul căreia îşi găseşte locul şi o confruntare între nivelul real de siguranţă realizat în acoperirea consumului şi cel corespunzător premiselor iniţiale.

În acest sens, articolul propune adoptarea unui set de indicatori specifici, care se pot utiliza la postcalculul riscului de neacoperire a consumului sau, în alternativă, a gradului de acoperire a consumului de energie din SEN.

1. Riscul neacoperirii puterii consumate

De regulă, la planificarea dezvoltării sistemelor energetice riscul neacoperirii puterii consumate se măsoară prin indicatorul LOLP (**L**oss of **L**oad **P**robability), care indică numărul de zile pe an în care nu se poate acoperi puterea de consum [2]. Acest risc se poate exprima şi în procente, cu aceeaşi semnificaţie. La calculele previzionale, de planificare a dezvoltării sistemelor energetice, acest risc se determină, de regulă, cu ajutorul calculelor fiabilistice, cu metoda binomială, analizînd condiţiile acoperirii sarcinilor de vîrf pe o perioadă de 365 zile din an, cu ansamblul de unităţi energetice din sistem. Bine înţeles că astfel de calcule pot avea în vedere şi perioade mai scurte (diviziuni ale anului). Se menţionează, însă, că în majoritatea ţărilor dezvoltate, normarea siguranţei acoperirii consumului se face pe baza indicatorului LOLP, exprimat în zile/an cu deficit de putere.

În funcţionarea efectivă a sistemului energetic, acest indicator este foarte simplu de determinat. Este suficient să se înregistreze numărul de zile din an cînd s-a manifestat un deficit de putere la ora de vîrf, fie că s-a înregistrat o frecvenţă sub limita minimă normală (49,5 Hz), fie că au trebuit efectuate limitări (L) şi/sau sacrificii (S) de consum, fie că au apărut ambele fenomene.

Astfel, riscul postcalculat de neacoperire a consumului de putere al SEN, se va determina din numărul zilelor ZN din an cu frecvenţa scăzută sau/şi cu limitări sau sacrificii de consum, faţă de numărul total de zile din an ($ZT = 365$ zile).

$$RZ\ (\text{zile/an}) = ZN \quad \text{sau} \quad RZ(\%) = \frac{ZN}{ZT} \cdot 100.$$

Într-o astfel de definire a riscului RZ, se consideră ,de regulă, că deficitul de putere este posibil doar la vîrful zilnic de sarcină ; la alte ore din zi consumul fiind mic, ar fi puţin probabil să se constate o neacoperire de consum. Dacă adîncimea deficitului de putere este însă neobişnuită de mare, este foarte posibil ca deficitul de putere să se manifeste şi la alte ore din zi. În cazul analizat este clar că

* Ing. Persida Iancovici — Institutul de Studii şi Proiectări Energetice, Bucureşti.

deficitul de putere nu se limitează doar la ora vîrfului zilnic de sarcină. Se poate utiliza atunci un indicator de risc calculat cu referire la toate cele HT ore din an și care va fi:

$$RH \text{ (ore/an)} = HN \text{ sau } RH(\%) = \frac{HN}{HT} \cdot 100,$$

unde:

RH reprezintă riscul de neacoperire a puterii de consum, calculat cu referire la consumurile orare;

HN — ore din an în care nu s-a acoperit tot consumul, adică s-a constatat o frecvență sub cea minimă normală sau/și s-au efectuat limitări (L) și/sau sacrificii (S) de consum.

Pentru a ține seama de adevărata amploare a deficitului de putere, în cazul de față ar fi mai potrivită utilizarea indicatorului RH.

2. Gradul de acoperire a consumului de energie electrică

În planificarea dezvoltării sistemelor energetice se întîlnește și utilizarea acestui indicator. De exemplu, pentru sistemul nostru energetic, normativul de proiectare a sistemului energetic ia în considerare acest indicator, care are o valoare normată luată în considerație la studiile de dezvoltare a centralelor. Determinarea previzională a gradului de acoperire a consumului de energie electrică se face cu metoda binomială, considerînd, de pe o parte, curba clasată de sarcină anuală și energia corespunzătoare și distribuția puterilor disponibile pe care le poate realiza ansamblul de grupuri din sistem, pe de altă parte.

Astfel, indicatorul „grad de acoperire a consumului de energie" notat în cele ce urmează GAE, este:

$$GAE = \frac{EC - \Sigma E_i \times P_i}{EC} \cdot 100,$$

în care:

EC este energia solicitată anual de consumatorii SEN;

E_i — energii ce nu pot fi acoperite din curba anuală de sarcină deoarece puterea produsă este mai mică decît puterea consumată, iar probabilitățile respectivelor deficite de putere sînt P_i.

Indicatorul GAE, utilizat la studiile de dezvoltare, poate fi și el postcalculat, dacă se dispune de date referitoare la mărimea sacrificiilor — S și limitărilor — L și duratele t_i ale aplicării acestor reduceri de puteri:

$$GAE = \frac{E_p}{E_p + \sum_i (S_i \cup L_i)t_i} \cdot 100,$$

în care:

E_p este energia anuală produsă de centralele SEN, inclusiv importată;

$\Sigma (S_i \cup L_i)t_i$ — energia totală neacoperită, datorită sacrificiilor S_i și/sau limitărilor L_i, efectuate pe parcursul anului.

În cazul funcționării și cu frecvența scăzută, este necesar ca în relația de mai sus să se introducă și termenii care corespund reducerilor de consum și reducerilor de producție, la reducerea frecvenței.

Desigur că, în cazul în care s-ar dispune de date accesibile privind puterile nealimentate, la vîrful de sarcină (și la alte posturi orare), ar fi foarte interesant să se mai cunoască și alți indicatori, posibil de determinat, precum:

— puterea medie neacoperită la vîrfurile zilnice de sarcină, pe sezoane și anual;

— puterea medie orară neacoperită, pe posturi orare și sezoane;

— distribuția probabilistică a puterilor orare neacoperite.

Considerînd datele de bază accesibile, se constată că postcalculul indicatorilor de tipul GAE (gradul de acoperire a consumului de energie) și ceilalți menționați mai sus, întîmpină dificultăți. Acești indicatori ar fi însă foarte utili în aprecierea amploarei neacoperirii de consum și în aprecierea eforturilor ce ar trebui făcute pentru reechilibrarea balanței producție-consum de energie electrică. Se apreciază însă că actualele preocupări pentru gestiunea consumurilor și introducerea calculatoarelor electronice în instalațiile energetice pentru diverse funcții de supraveghere și alte funcții, ar putea fi dezvoltate și în sensul unei cît mai bune cunoașteri și urmăriri a neacoperirilor de consum.

Concluzii

Funcționarea de lungă durată a sistemului energetic la frecvență scăzută, justifică o mai sistematică studiere a fenomenelor ce intervin într-o astfel de situație. Obiectivizarea și cuantificarea situației și din punctul de vedere al măsurării, după aceleași criterii care se folosesc în studiul dezvoltării sistemelor, a incapacității de acoperire a consumului SEN, este posibilă și logică și se impune atenției. Ea trebuie să fie o componentă a eforturilor ce se fac pentru corecta evaluare a situației și aprecierea măsurilor de remediere.

Bibliografie

[1] M.E.E. *PE 026/84 Normativ de proiectare a sistemului energetic național.*

[2] *Experience with the Agency's WASP for Nuclear Power Planning in Developing Countries.* Proceedings of an Advisory Group Meeting held in Vienna, 16—20 sept. 1985.

(Primit la 26 noiembrie 1987, acceptat la 17 decembrie 1967)

Determinarea experimentală a caracteristicilor statice de putere funcţie de tensiune ale consumatorilor complecşi

Ing. Mihai Moga, dr. ing. Adrian Buta, dr. ing. Cornelia Ivaşcu, ing. Liviu Milea *

Descriptori: caracteristici statice de putere, consumatori de energie electrică

Introducere

Necesitatea considerării consumatorilor complecşi din nodurile sistemului electroenergetic (SEE) prin caracteristici reale obţinute fie prin măsurători, fie prin asamblări analitice este astăzi unanim acceptată [1,2,5,9,10,16].

Atît identificarea experimentală, cît şi cea analitică a consumatorilor complecşi presupune o serie de limitări şi dificultăţi care fac din stabilirea caracteristicilor acestora o sarcină deosebit de dificilă [2,3,5,10,16]. Eforturile care se depun în acest domeniu au permis acumularea unui volum important de date care facilitează considerabil construirea caracteristicilor statice sau dinamice ale consumatorilor complecşi de interes. Identificarea pe baza măsurătorilor în teren este esenţială în acest sens, constituind totodată, prin caracterul său empiric, o validare a caracteristicilor estimate analitic.

În acest context, prezenta lucrare abordează problema identificării experimentale a unui consumator complex de tip industrial în vederea obţinerii caracteristicilor statice de putere activă şi reactivă funcţie de tensiune pe baza rezultatelor unor teste active efectuate într-o staţie de transformare de 110/10 kV din Timişoara. Se prezintă un echipament de măsură şi înregistrare adecvat identificării caracteristicilor statice şi dinamice ale consumatorilor complecşi. În vederea prelucrării statistice a datelor exprimentale s-a elaborat un algoritm de calcul bazat pe metoda celor mai mici pătrate pentru estimarea parametrilor caracteristicilor statice admise de forma [13]:

$$C = K_0 + K_1 \cdot U + K_2 \cdot U^a, \qquad (1)$$

unde :

- a este un exponent neîntreg, pozitiv sau negativ ;
- C — mărimea caracteristică a consumatorului complex (puterea activă sau reactivă absorbită) ;
- U — mărimea electrică oferită de SEE la bornele consumatorului complex ;
- K_0, K_1, K_2 — parametrii caracteristicilor statice ce se impun a fi estimaţi.

Pe baza prelucrării rezultatelor experimentale obţinute prin teste active efectuate în luna aprilie 1987 în staţia de 110/10 kV „Dumbrăviţa" de racord a Întreprinderii Textila Timişoara s-au obţinut caracteristici statice de tensiune pentru acest consumator complex, atît sub forma neliniară (1), cît şi sub forma liniarizată în jurul punctului de funcţionare staţionar [12], avînd ca parametri valorile efectelor de reglaj în acest punct exprimate în unităţi raportate la mărimile corespunzătoare din regimul de referinţă.

1. Determinările experimentale pentru estimarea caracteristicilor statice ale consumatorilor complecşi

Realizarea determinărilor experimentale cu metode pasive sau active ridică o serie de dificultăţi care le reduc substanţial gradul de aplicabilitate. Astfel, dintre problemele pe care le ridică metodele pasive, ce utilizează fluctuaţiile naturale ale mărimilor de sistem se remarcă :

a — necesitatea unui timp îndelungat de urmărire a consumatorului (de ordinul lunilor) [6,8,15] ;

b — dificultăţile de prelucrare a rezultatelor măsurătorilor datorită, pe de o parte, imposibilităţii separării modificării tensiunii cauzată de SEE de cea cauzată de schimbările în structura consumatorilor complecşi şi, pe de altă parte, fenomenelor tranzitorii slabe inerente consumatorilor, în mod deosebit celor industriali [2,16] ;

c — necesitatea unui echipament costisitor şi sofisticat pentru înregistrarea, conversia şi memorarea datelor ;

d — stabilirea pragului de sensibilitate necesită un volum mare de încercări separat pentru fiecare tip de consumator [2, 8, 15].

Dintre problemele pe care le ridică determinările experimentale cu metode active se evidenţiază :

a — limitele restrînse în care pot fi modificate mărimile de sistem (tensiunea şi frecvenţa) [2, 11, 16] ;

b — în cazul modificărilor lente ale mărimilor de sistem pot să apară modificări în structura consumatorilor complecşi ce alterează rezultatele [7, 16] ;

c — datorită abaterilor relativ mici ale mărimilor electrice măsurate în cadrul acestor determinări (în jurul clasei de precizie a aparatelor

* Ing. Mihai Moga, dr. ing. Adrian Buta, dr. ing. Cornelia Ivaşcu — Facultatea de Electrotehnică, Institutul Politehnic „Traian Vuia" Timişoara, ing. Liviu Milea — IRE Timişoara.

de măsură) erorile care intervin în înregistrarea datelor pot să le facă inutilizabile [2, 15].

Optînd pentru utilizarea metodelor active de testare a consumatorilor complecși în vederea depășirii unor probleme ale acestei metode se propune utilizarea unui echipament de măsură și înregistrare, constituit din ur.mătoarele unități componente (fig. 1):

1 — unitate de măsură care permite stabilirea valorilor mărimilor electrice din punctul de funcționare staționar (P_0, Q_0, U_0 și f_0) și al scărilor de redare a abaterilor;

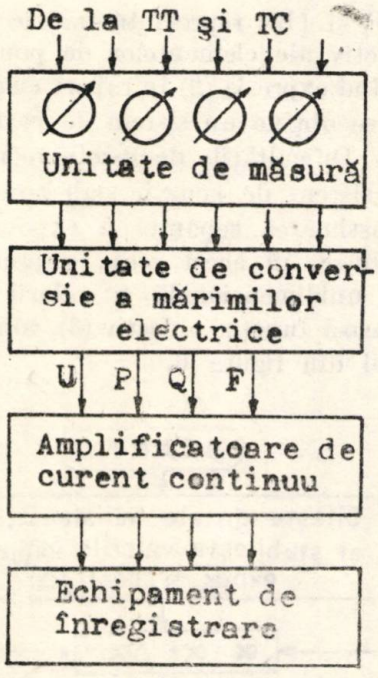


Fig. 1. Structura echipamentului de determinare a caracteristicilor statice ale consumatorilor complecși.

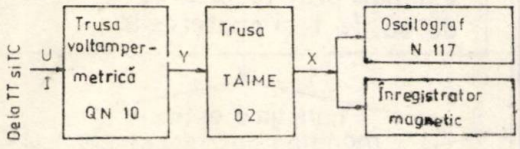


Fig. 2. Echipamentul utilizat pentru determinarea caracteristicilor statice ale unui consumator complex industrial.

2 — unitate de conversie a mărimilor electrice măsurate, tensiuni și curenți, valori momentane în tensiuni continue proporționale cu tensiunea, puterea activă, puterea reactivă și frecvența;

3 — amplificatoare de curent continuu pentru abaterile mărimilor electrice de interes față de valorile lor din regimul de referință;

4 — echipament de înregistrare a abaterilor de tensiune, frecvență și putere.

Pe baza acestei structuri de principiu a fost realizat un echipament constituit din elementele fizice prezentate în figura 2, în care elementul intermediar, trusa TAIME — 02, realizează funcțiile unităților 2 și 3 din schema de principiu.

Trusa TAIME — 02 [14] este constituită din șase blocuri funcționale (fig. 3), asamblate într-o incintă portabilă al cărui panou frontal (fig. 4) conține elementele de conectare și semnalizare. Blocurile funcționale ale trusei

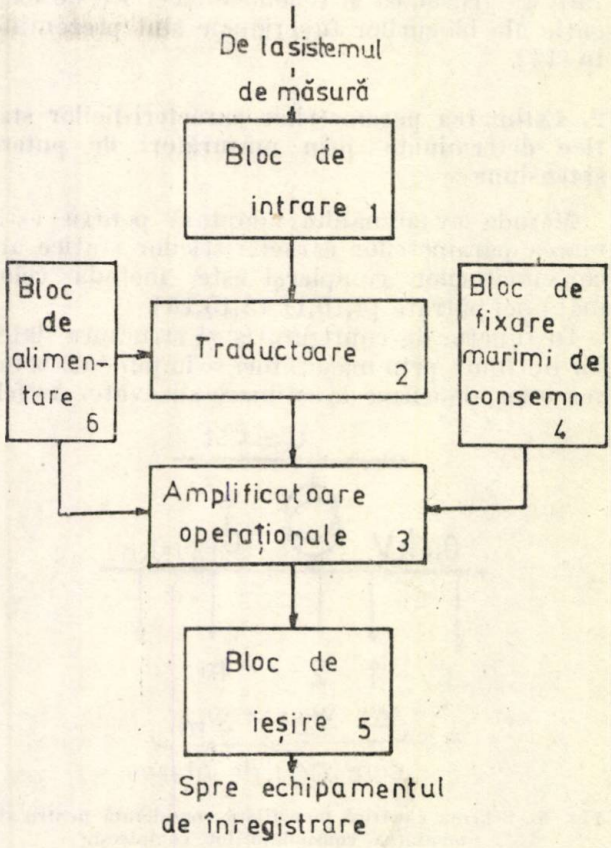


Fig. 3. Structura de principiu a trusei TAIME-02.

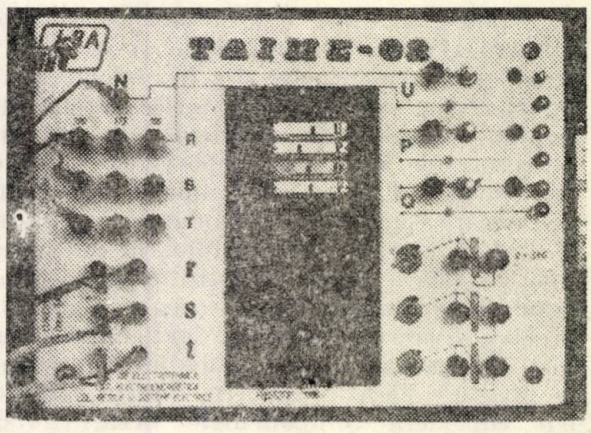


Fig. 4. Vedere a panoului frontal al trusei TAIME-02.

asigură adaptarea marimilor de intrare, blocul (1), conversia lor în tensiuni continue, blocul (2), amplificarea abaterilor mărimilor măsurate, P, Q, U, f față de mărimile corespunzătoare de consemn stabilite prin intermediul blocului (4), mărimi caracteristice regimului de referință P_0, Q_0, U_0, f_0. Blocul (5) de ieșire,

conferă posibilităţile de măsurare şi reglaj ale mărimilor de ieşire printr-un sistem de borne de conectare, jacuri telefonice şi potenţiometre de adaptare (fig. 4), astfel încît valorile acestor mărimi să fie adecvate înregistrării cu oscilograful mecanic sau magnetic.

Datele tehnice şi instrucţiunile de exploatare ale trusei, ca şi schemele electrice de execuţie ale blocurilor funcţionale sînt prezentate în [14].

2. Estimarea parametrilor caracteristicilor statice determinate prin măsurători de putere şi tensiune

Metoda cvasiunanim adoptată pentru estimarea parametrilor caracteristicilor statice ale consumatorilor complecşi este metoda celor mai mici pătrate [4,10,11,13,15,16].

În funcţie de configuraţia şi structura datelor obţinute prin măsurători se impune elaborarea unor algoritme de estimare adecvate. Astfel,

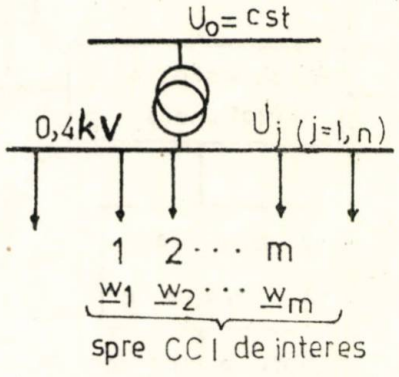


Fig. 5. Schema electrică monofilară considerată pentru alimentarea consumatorilor complecşi.

în cazul general al consumatorilor complecşi alimentaţi prin mai multe plecări (m) de pe barele staţiilor de trasformare (fig. 5) estimarea parametrilor caracteristicilor statice ale acestora impune considerarea caracteristicilor măsurate pe toate cele m plecări proporţional cu ponderile $\underline{w}_j$ ($j = 1,m$) şi cu ponderea consumului pe fiecare plecare. Componentele vectorului $\underline{w}_j$, (w_{ij} ($i = 1,n$) n fiind numărul de măsurători pe plecarea j) se obţin prin corectarea ponderii consumului pe plecarea j cu gradul de precizie sau de încredere acordat fiecărei măsurători. În general, însă, utilizînd echipamente de măsură identice pentru fiecare plecare se pot considera componentele fiecărui vector $\underline{w}_j$ ca fiind egale ($w_{ij}=w_{kj}=w_j$ pentru oricare k şi $i \in (1,n)$), ceea ce simplifică algoritmul de calcul şi volumul de date necesar.

Considerînd expresia (1) pentru caracteristica statică estimată, mărimile măsurate, Z_{ij} (pe plecarea i la măsurătoarea j), pot fi scrise sub forma :

$$Z_{ij} = K_0 + K_1 \cdot U + K_2 \cdot U^a + \partial_{ij} \qquad (2)$$

unde :

$$i = 1,\ m \text{ şi } j = 1,n;$$

∂_{ij} — eroarea de măsurare a puterii pentru punctul j de pe caracteristica măsurată i.

Pentru estimarea parametrilor $\underline{K}$ ai caracteristicilor statice se defineşte funcţia obiectiv conform teoriei estimaţiei cu metoda celor mai mici pătrate ponderate :

$$J = [\partial]^T [W][\partial], \qquad (3)$$

unde $[\partial]$ şi $[W]$ reprezintă matricele erorilor şi respectiv ale elementelor de ponderare.

Derivînd expresia (3) în raport cu parametrii $\underline{K}$ şi a se obţine un sistem de patru ecuaţii, neliniar. Dificultăţile de rezolvare numerică a acestui sistem de ecuaţii slab condiţionat a impus estimarea separată a exponentului a, utilizîndu-se, în acest scop, o procedură de căutare unidimensională a valorii sale care minimizează funcţia obiectiv (3), conform ordinogramei din figura 6.

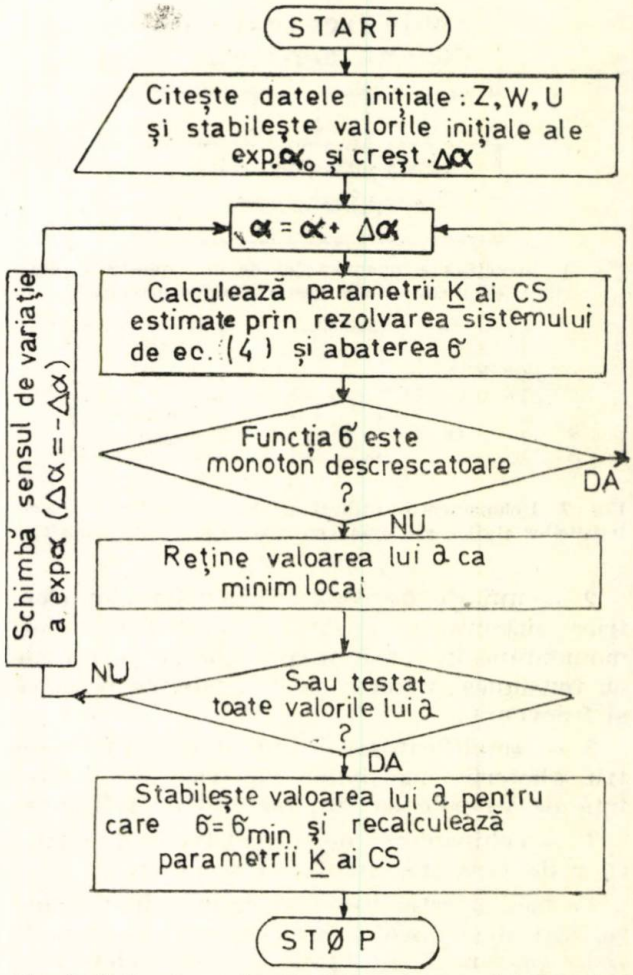


Fig 6. Ordinograma de principiu a programului PREDEX.

Pentru o valoare dată a exponentului a, anulînd derivatele funcției J în raport cu parametrii $\underline{K}$ rezultă sistemul de ecuații liniar :

$$\sum_i^m \left\{ w_i \left(n.K_0 + K_1 \sum_j^n U_j + K_2 \sum U_j^a \right) \right\} = = \sum_i^m w_i \sum_j^n Z_{ij}$$

$$\sum_i^m \left\{ w_i \left(K_0 \sum_j^n U_j + K_1 \sum_j^n U_j^2 + K_2 \sum_j^n U_j^{a+1} \right) \right\} = = \sum_j^m \left\{ w_i \sum_j^n Z_{ij}.U_j \right\}$$

$$\sum_i^m \left\{ w_i \left(K_0 \sum_j^n U_j^a + K_1 \sum_j^n U_j^{a+1} + K_2 \sum_j^n U_j^{2a} \right) \right\} = = \sum_i^m \left\{ w_i \sum_j^n Z_{ij}\, U_j^a \right\} \quad (4)$$

implementat în programul de calcul denumit convențional PREDEX (limbaj BASIC) a cărui ordinogramă de principiu este prezentată în figura 6.

Ca măsură a fidelității caracteristicii estimate (cu parametrii $\hat{\underline{K}}$) față de cele măsurate se utilizează abaterea medie pătratică, definită conform relației :

$$\sigma = \frac{\sum_{i=1}^m \sqrt{\sum_{j=1}^n [Z_{ij} - (\hat{K}_0 + \hat{K}_1 \cdot U_j + \hat{K}_2 U_j^a)]^2}}{m \cdot n} \quad (5)$$

Experiența acumulată în prelucrarea datelor experimentale cu algoritmul prezentat mai sus a evidențiat o dispersie extrem de mare pentru valorile parametrilor $\underline{K}$ chiar pentru același consumator considerat la momente diferite. În schimb, valoarea efectului de reglaj exprimat în unități relative se menține în domenii foarte restrînse, relevînd importanța sa ca parametru al caracteristicilor statice liniarizate ale consumatorilor complecși.

3. Identificarea experimentală a caracteristicilor statice ale Intreprinderii Textila Timișoara

Măsurătorile pentru identificarea caracteristicilor statice ale Intreprinderii Textila Timișoara s-au efectuat în trei zile lucrătoare normale : 4,17 și 18 aprilie 1987 între orele 10—11 și 15—16 în stația de transformare 110/10 kV „Dumbrăvița", utilizînd echipamentul descris anterior (fig. 7).

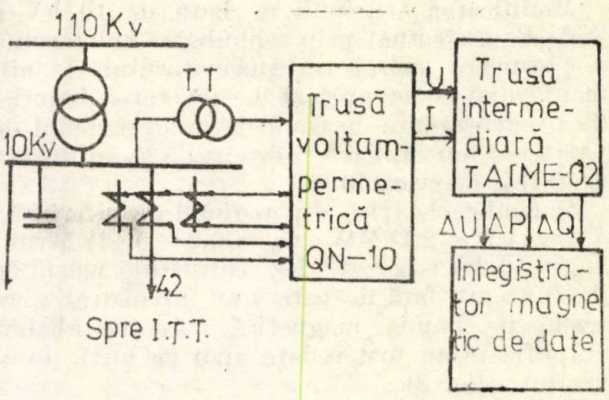


Fig. 7. Conectarea echipamentului de determinare utilizat.

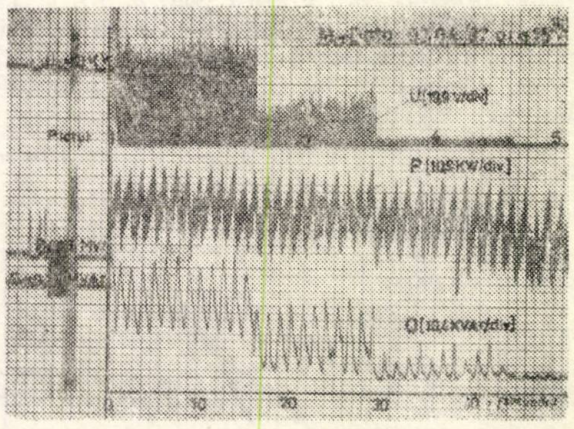


Fig. 8. Oscilograma tensiunii și puterii la schimbarea ploturilor prizei transformatorului.

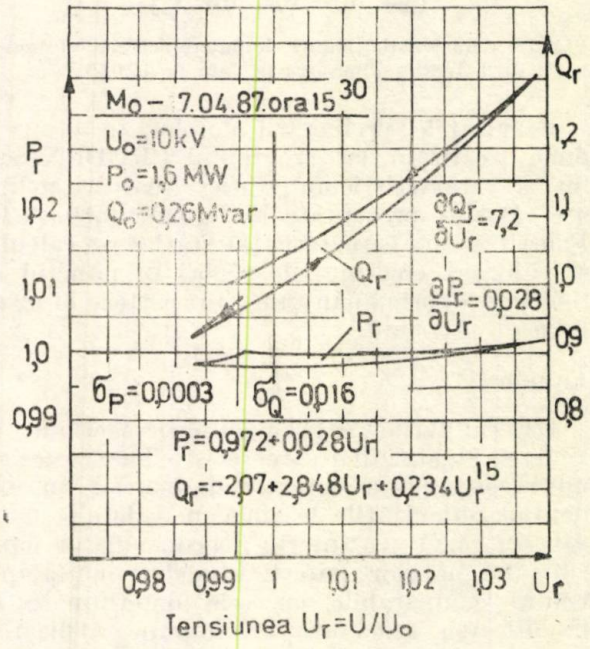


Fig. 9. Caracteristicile statice de putere activă și reactivă ale Întreprinderii Textila Timișoara în data de 7.04.1987.

Modificarea tensiunii pe bara de 10 kV a staţiei s-a efectuat prin schimbarea sub sarcină a ploturilor prizei transformatorului de alimentare şi conectarea şi deconectarea bateriei de condensatoare de compensare. Domeniul de variaţie a tensiunii a fost de circa 5 %, iar durata unui test de circa 50 s.

Mărimile electrice din regimul de referinţă : $P_0 = (1{,}6 - 2{,}1)$ MW ; $Q_0 = (0{,}2 - 0{,}43)$ Mvar ; $U_0 = 10$ kV ; $f_0 = 48$ Hz, constituie mărimile de consemn faţă de care s-au înregistrat abaterile pe banda magnetică. Aceste abateri amplificate au fost redate apoi pe hîrtie fotografică (fig. 8).

Prelucrarea datelor experimentale înregistrate a constat din două etape :

1 — obţinerea caracteristicilor statice sub formă tabelară sau grafică (fig. 9, 10, şi 11) ;

2 — estimarea parametrilor caracteristicilor statice sub formă neliniară (modelul (1)) şi linearizarea în jurul punctului de funcţionare de referinţă.

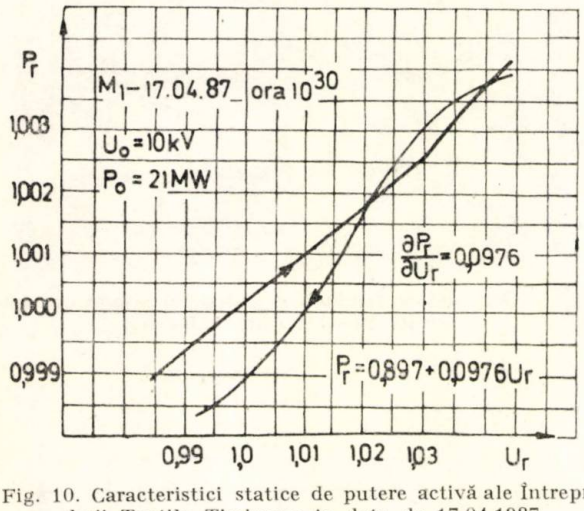


Fig. 10. Caracteristici statice de putere activă ale Întreprinderii Textila Timişoara în data de 17.04.1987.

Rezultatele prelucrării datelor în etapa a doua, realizată cu programul PREDEX, sub forma caracteristicilor statice analitice neliniare (1) sînt prezentate în figurile 9,10 şi 11. Pentru fiecare caracteristică statică s-a calculat şi valoarea efectului de reglaj în punctul de referinţă exprimat în unităţi raportate la mărimile de referinţă.

Concluzii

Determinările experimentale efectuate în vederea identificării caracteristicilor statice ale unui consumator complex industrial au evidenţiat dificultăţile de obţinere a datelor necesare în cazul acestui tip de consumator datorită fluctuaţiilor puterii absorbite cu amplitudini comparabile cu cele determinate de modificarea tensiunii. Se impune utilizarea, în acest scop, a unui echipament adecvat cu structura celui descris la pct. 1.

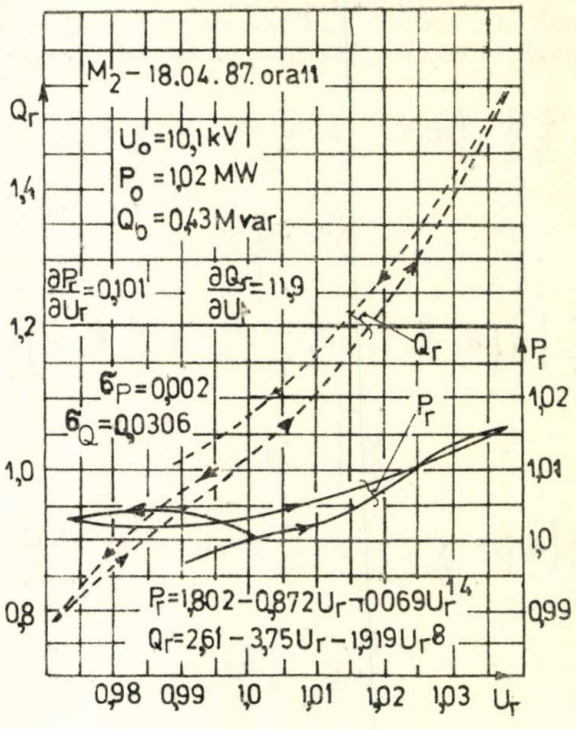


Fig. 11. Caracteristici statice de putere activă şi reactivă ale Întreprinderii Textila Timişoara în data de 18.04.1987.

Utilizarea expresiilor de forma (1) este adecvată pentru caracteristica statică, atît de putere activă, cît şi reactivă. Algoritmul de estimare a parametrilor caracteristicilor statice s-a dovedit eficient, în cazul ambelor caracteristici obţinîndu-se abateri medii pătratice σ (relaţia (5)) de ordinul 0,002 şi 0,03 pentru puterea activă, respectiv reactivă.

Valorile mici ale efectelor de reglaj al puterii active sînt determinate de ponderea (circa 85 %) a consumului în motoare de inducţie. Valorile efectelor de reglaj al puterii reactive în raport cu tensiunea sînt sensibil afectate de prezenţa compensării puterii reactive cu baterii de condensatoare statice. Această compensare, puternică în cazul analizat (de circa 95 %), determină şi o dispersie mare a valorilor efectelor de reglaj, aşa cum rezultă şi din datele indicate în figurile 9—11. O reducere a acestei dispersii ar fi posibilă prin înlocuirea puterii reactive Q_0 ca mărime de raportare cu puterea activă sau aparentă [2, 9].

Bibliografie

[1] Berg, G. J. *Power system load representation.* În: Proceedings IEE, 120, nr. 3, 1973, p. 344—348.

[2] Concordia, C., Ihara, S. *Load representation in power system stability studies.* În: IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 101, nr. 4, 1982, p. 969—977.

[3] Crişan, O., Lustrea, B., Kilyeni, St., Moga, M., Şurianu, F. *Consideraţii privind determinarea caracteristicilor statice ale consumatorilor complecşi din*

cadrul sistemelor electroenergetice. In: Buletinul ştiinţific şi tehnic, IP „Traian Vuia" Timişoara, tom 24 (38), fasc. 2, 1979, p. 138—150.

[4] Frantz, T., Gentile, T., Ihara, S., Simons, N., Waldrom, M. *Load behavior observed in LILCO and RG&E systems.* In: IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 103, nr. 4, 1984, p. 819—831.

[5] Frowd, R. J., Podimore, R., Waldrom, M. *Synthesis of dynamic models for stability studies.* In: Transactions on Power Apparatus and Systems 101, nr. 1, 1982, p. 127—135.

[6] Ihara, S. *Bismark load behavior during field tests.* In: IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 100, nr. 11, 1981, p. 4540—4549.

[7] Ivaşcu, C., Moga, M., Milea, L. *Identificarea caracteristicilor statice de putere funcţie de tensiune ale unor consumatori complecşi din sistemul electroenergetic.* Sesiunea ştiinţifică jubiliară a IP Iaşi, 1986, vol. 13, p. 249—255.

[8] Kalinovski, J., Forte, M. *Steady-state load voltage characteristics field tests at area substation and fluorescent lighting components carachteristics.* In: IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 100, nr. 6, 1981, p. 3087—3094.

[9] Kent, M., Schums, W. R., Mc Crakin, F., Weler, L. M. *Dynamic modelling of loads in stability studies.* In: IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 88, nr. 5, 1969, p. 756—763.

[10 Mauricio, W., Semlyen, A. *Effect of load characteristics on the dynamic stability o power systems.* In: IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 91, nr. 8, 1972, p. 2295—2303.

[11] Miliţescu, I., Petroianu, A. *Determinarea experimentală a unor parametri din sistemul energetic naţional.* In: Energetica, 13, 1965, nr. 12, p. 599—601.

[12] Moga, M., Ivaşcu, C. *Reprezentarea caracteristicilor statice funcţie de tensiune ale consumatorilor complecşi prin expresii liniare.* Sesiunea ştiinţifică IP. Iaşi, 1986, vol. 13, p. 257—262.

[13] Moga, M., Ivaşcu, C. *Estimarea expresiei caracteristicilor statice de putere funcţie de tensiune ale consumatorilor complecşi pe baza caracteristicilor determinate experimental.* SNRE Timişoara, 1984, vol. I, p. 90—96.

[14] Moga, M., Zipel, I., Cimponeru, D. *Trusa intermediară pentru înregistrarea unor mărimi electrice.* Inovaţie înregistrată la Institutul Politehnic Timişoara cu nr. 129/1987.

[15] Ohyama, T., Watanabe, H., Nishimura, K. *Voltage dependence of composite loads in power systems.* In: IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 104, nr. 11, 1985, p. 3064—3073.

[16] * * * *Systems load dynamics - Simulations, effect and determination of load constants.* În: IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, 92, nr. 2, 1973, p. 600—609.

(Primit la 26 octombrie 1987, acceptat la 6 ianuarie 1988)

Recenzie

Seria ENERG, numerele 1, 2 şi 3

În Editura Tehnică au apărut pînă în prezent primele trei numere ale unei noi publicaţii în domeniul energeticii: **ENERG**.

După cum se arată în „Cuvînt înainte" scris de directorul Editurii Tehnice, I. Iliescu, seria **ENERG**, ca şi seria **AMC**, cunoscută specialiştilor, se deosebeşte de alte publicaţii de specialitate, nefiind legată de apariţia la termene fixe şi dispunînd de un spaţiu, care îi permite prezentarea de studii şi sinteze substanţiale, într-un spectru larg şi variat de probleme. În cadrul fiecărui număr, acestea sînt grupate pe tematici, care îmbracă toate sau cel puţin majoritatea aspectelor energeticii:

— politici şi strategii energetice;

— surse şi resurse de energie;

— producerea de energie şi exploatarea centralelor;

— transportul şi distribuţia energiei;

— utilizarea şi gospodărirea raţională a energiei;

— impact energie-mediu;

— probleme de interdisciplinaritate.

Gruparea acestor tematici nu este rigidă, adaptîndu-se la caracteristicile articolelor publicate în fiecare număr. În plus, în fiecare număr al publicaţiei apar diferite informaţii tehnice şi materiale documentare.

În cadrul tematicii de **politici şi strategii energetice**, un loc deosebit îl ocupă, în primul număr al publicaţiei, articolul semnat de M. Florescu *„Politica energetică a Partidului Comunist Român"*. În acest articol se face atît un scurt istoric privind orientările date de partid prin planul de dezvoltare energetică a ţării 1966—1975, elaborat în urma Congresului al IX-lea al P.C.R., cît şi o expunere privind orientările actuale şi de perspectivă în ceea ce priveşte politica energetică. Se analizează problema resurselor primare, dar se pune accentul mai ales pe sursele noi şi refolosibile, arătîndu-se pentru fiecare în parte direcţiile către care trebuie să se îndrepte dezvoltarea cercetărilor şi a aplicaţiilor; de asemenea, sînt analizate problemele de bază privind economia de energie şi perfecţionarea tehnologiilor, în special a celor mari consumatoare de energie.

În acelaşi cadru de politici şi strategii energetice, un loc important îl ocupă articolele tratînd probleme reieşite din lucrările Conferinţei Mondiale a Energiei. Astfel articolul *„O viziune recentă asupra perspectivei energetice mondiale"* de C. Mihăileanu, prezintă o serie de consideraţii şi date de prognoză asupra energiei pînă în anul 2020, aşa cum au fost analizate în reuniunea anuală a Consiliului Executiv Internaţional ţinută în septembrie 1985 la Sofia.

Lucrările Congresului al 13-lea al Conferinţei Mondiale a Energiei sînt prezentate în mai multe articole. După ce în numărul 1 al colecţiei ENERG, M. Pop, C. Mihăileanu şi M. Trifan arată structura organizatorică a CME, obiectivele activităţii sale şi modul de lucru al congreselor, în numerele 2 şi 3 M. Pop face o prezentare generală a celui de al 13-lea congres, anexînd o listă a rapoartelor; în continuare sînt evidenţiate concluziile principale desprinse din aceste rapoarte grupate pe o serie de tematici de interes general şi pentru ţara noastră:

— *Necesităţi şi resurse*, de G. Manolescu;

— *Prognoză şi planificare*, de M. Nistor;

— *Surse noi şi refolosibile*, de M. Voinea;

— *Utilizarea raţională a energiei*, de D. Voinea;

— *Energetica nucleară*, de I. Ionescu;

— *Protecţia mediului ambiant*, de A. Cogălniceanu şi C. Goldenberg.

În cadrul aceleiaşi tematici de concepte, politici şi strategii energetice, mai multe articole tratează probleme variate:

— *Bilanţul energetic. Aplicabilitate şi limite*, de Gh. Carabogdan şi C. Brătianu, care îşi propune să clarifice şi să precizeze o serie de noţiuni şi concepte teoretice privind bilanţul şi randamentul energetic în scopul unei mai bune înţelegeri a fenomenelor fizice;

— *Metalurgia şi energia nucleară*, de S. Gîdea, care tratează probleme legate de combustibilul nuclear şi de materialele de construcţie din structurile interne ale reactorului nuclear;

— *Incidenţa şocurilor petroliere din deceniul 8 asupra energeticii ţărilor membre ale Comisiei Economice ONU pentru Europa*, de A. Cogălniceanu, este o amplă analiză efectuată pe grupuri de ţări pe baza datelor publicate de CEE-ONU;

— *Integrarea complexă a platformelor industriale: soluţii de minimizare a consumului de resurse energetice în profil teritorial* şi *Politici energetice în prelucrarea ţiţeiului*, ambele articole elaborate de Gh. Manea, care privesc energetica în industrie.

Ca teme din **domeniul interdisciplinarităţii** menţionăm:

— *Sinergetica, o metaştiinţă?*, de I. Purica, articol în care se arată obiectul

(continuare în pag. 93)

Echipamentele electrice principale și amplasamentele stațiilor electrice de înaltă tensiune ale centralelor nucleare-electrice. Situația pe plan mondial

Ing. Paul Emil Rașcu*

Descriptori: echipamente electrice, stații electrice, centrale nuclearoelectrice

1. Echipamente electrice principale

1.1. Turboalternatorul

Construcția generatoarelor electrice pentru centralele nucleare este strîns legată de construcția turbinelor respective, parametrii acestora influențînd în mare măsură realizarea generatoarelor electrice cu care sînt cuplate.

Specific tehnicii nucleare este gigantismul echipamentelor utilizate, ajungîndu-se în prezent la puteri unitare de peste 2000 MVA (de exemplu CNE Salem 2 în S.U.A. echipată cu un reactor PWR și un turbogenerator de 2115 MWe cu punere în funcțiune în 1981, avînd ca furnizor pe Westinghouse).

În stadiul actual al tehnicii turbinele pentru centralele nuclearoelectrice se deosebesc de cele din centralele convețională, și anume [1]:

Constructiv prin faptul că lucrează cu abur saturat, destinderea acestuia făcîndu-se numai în mediul umed; ca urmare, turbina are numai corpuri de medie și joasă presiune. Legat de aceasta este volumul foarte mare de abur ce traversează turbina (cu circa 80 % mai mult decît în cazul unităților similare convenționale), ceea ce determină numărul de fluxuri de abur la intrarea în turbină pentru care trebuie să se asigure o suprafață corespunzătoare de acces în condensator.

Limitarea coroziunii ultimelor palete ale turbinei în aburul umed și reducerea eforturilor mecanice în palete ca urmare a efectelor forțelor centrifuge conduce, pe de altă parte, la limitarea lungimii ultimelor palete ale turbinei, la reducerea diametrului rotorului turbinei și la reducerea numărului de rotații ale acestuia. Exemplificînd prin cifre, rezultă că la 3000 rot/min și la o lungime de 1150 mm a ultimelor șiruri de palete ale turbinei, suprafața de acces a aburului în condensator ar trebui să fie de circa 10 m², viteza periferică maximă a rotorului turbinei de 620 m/s, în timp ce la 1500 rot/min, lungimea ultimelor palete ale turbinei poate fi mărită la 1650 mm, suprafața de acces în condensator a aburului crește la circa 20 m², dar viteza periferică maximă a rotorului turbinei se reduce la 450 m/s.

Tot astfel, întrucît nici o perturbație în funcționarea turbinei sau a căilor de racord al grupului la sistemul energetic nu trebuie să conducă la oprirea reactorului, evacuarea căldurii produse în reactor urmează a fi făcută direct în condensatorul turbinei sau în alte instalații corespunzător dimensionate.

Mai mult, turbina este astfel concepută încît este capabilă să funcționeze timp îndelungat numai cu o cantitate redusă de abur, necesară numai pentru alimentarea prin generatorul propriu a sarcinii corespunzătoare serviciilor proprii ale centralei (circa 7 — 10 % din puterea nominală).

Din cele de mai sus rezultă că la puteri unitare mari și la utilizarea aburului saturat, numărul de rotații ale turboagregatelor este preferabil a fi de 1500 rot/min (la 50 Hz) ceea ce asigură în plus o oboseală mai redusă în timp a paletelor turbinei și ajută la o comportare mai bună a agregatului în ansamblu la deconectările bruște de sarcină.

Ca urmare a perfecționărilor adoptate în tehnica construcțiilor marilor generatoare, volumul lor specific a fost redus continuu, ceea ce rezultă și din figura 1, unde se prezintă creșterea lungimii turboagregatelor și a greutății lor totale odată cu creșterea puterii unitare a acestora [2].

Trecerea impusă de realizarea turbinei cu abur saturat de la 3000 rot/min la 1500 rot/min

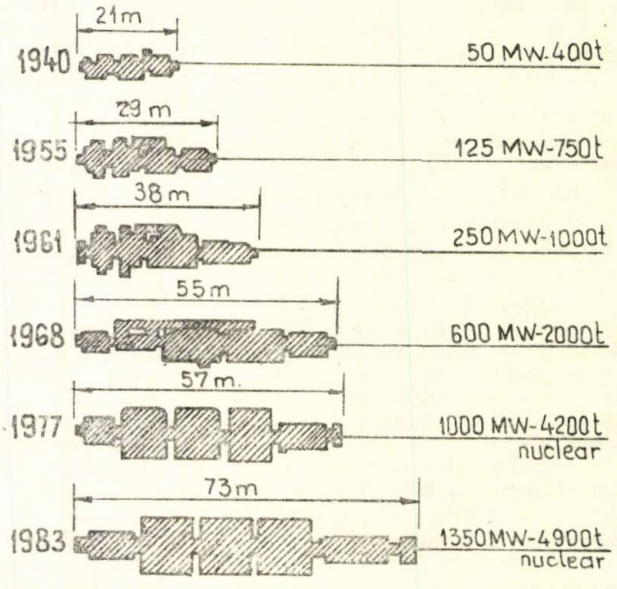


Fig. 1. 40 de ani de evoluție a dimensiunilor și greutăților turboalternatoarelor.

* Ing. Paul Emil Rașcu — Institutul de Studii și Proiectări Energetice, București

corespunzător frecvenței rețelei electrice de 50 per/s (respectiv de la 3600 rot/min la 1800 rot/min, pentru frecvența rețelei electrice de 60 per/s) a obligat la trecerea de la construcția cea mai simplă a generatorului sincron cu doi poli, la construcția cu 4 poli, dificultate care este însă rezolvată în prezent.

Odată cu creșterea puterii unitare a generatorului sincron se modifică și reactanțele tranzitorii și supratranzitorii ale acestuia, dar prin mărirea dispersiei cîmpului rotorului generatorului, valoarea acestora poate fi menținută în limite acceptabile. De asemenea, a fost mărită și tensiunea nominală la bornele generatorului sincron de la 15 kV la 20, 24 și 27 kV, obținînd totuși curenți nominali în înfășurările statorului de ordinul a zeci de kiloamperi, factorul de putere fiind menținut la valorile uzuale de 0,8 — 0,9.

În aceste condiții se înțelege că una dintre problemele de primă importanță o reprezintă răcirea generatoarelor sincrone. Apreciind că la un generator cu puterea de 1300 MW pierderile de putere la plină sarcină reprezintă circa 12000 kW (ce trebuie eliminate continuu în funcționare) se înțelege necesitatea de a găsi noi soluții în problema răcirii, atît a înfășurărilor electrice, cît și a miezului magnetic respectiv. S-a trecut astfel la alegerea agentului de răcire de la aer la hidrogen, apoi la diferențierea răcirii statorului cu apă și a rotorului cu hidrogen, ca în cele din urmă, cu toate dificultățile de realizare, să se folosească apa, atît pentru răcirea statorului, cît și a rotorului [3].

În tabelul 1 sînt date cîteva caracteristici principale ale marilor generatoare sincrone utilizate în centralele nucleare din lume.

Tabelul 1

Caracteristici principale ale unor generatoare sincrone realizate pentru centralele nuclearoelectrice

Constructor / Caracteristica	Alsthom	Alsthom	BBC	KWU	General Electric	Bab& Wilc (BBC)
Putere aparentă, MVA	1069	1710	1294	1500	1525	1480
Tensiune nominală, kV	24	20	21	27	22	24
Factor de putere	0,9	0,9	0,85	0,8	0,85	0,85
Număr rot/min	1500	1500	1500	1500	1800	1800
Răcirea înfășurării statorului	apă	apă	apă	apă	H_2	apă
Răcirea înfășurării rotorului	H_2	H_2	H_2	H_2	H_2	H_2
Răcirea tolelor	H_2	H_2	H_2	H_2	H_2	H_2

În ceea ce privește randamentul de funcționare al marilor generatoare electrice acesta ajunge la 99 %, numai că valoarea sa maximă este atinsă între 50 și 75 % din sarcina nominală.

Pentru punerea la punct a construcției marilor generatoare sincrone s-a efectuat o muncă imensă de proiectare, cercetare și experimentare pe prototipuri de către majoritatea constructorilor de specialitate. Cu datele tehnicii actuale se consideră că pot fi realizate generatoare sincrone cu o putere maximă de 2,5 GW, limitată în prezent în special de posibilitățile de transport la locul de montaj. În cazul transportului pe apă, puterea nominală a acestor unități ar putea crește la 3 GW; în cazul în care transportul lor la șantier se face pe uscat ele se vor transporta în bucăți ce trebuie asamblate și probate pe șantier [4].

1.2. Unitățile de transformare

Deși de regulă sînt de putere mare, unitățile de transformare ce se cuplează bloc cu generatoarele sincrone din centralele nuclearoelectrice pot fi executate, în ceea ce privește caracteristicile electrice, corespunzător tuturor cerințelor uzuale actuale.

Una din problemele importante care se pune în această situație, este modul lor de rezervare în caz de avarie. În acest scop s-a adoptat soluția de a cupla două transformatoare de putere mai mică pe un singur generator sincron. Dar chiar și în aceste cazuri transformatoarele au mari greutăți de transport și sînt, de regulă, agabaritice. Pentru a reduce sarcina de transport a unităților de transformare se poate accepta transportul acestora cu o cantitate mică de ulei în cuvă, aceasta urmînd a fi menținută sub presiune de azot pînă la șantierul de destinație. Soluția ușurează transportul transformatorului, dar dacă pînă la punerea în funcțiune a unității nu sînt îndeplinite cu rigurozitate o serie de măsuri prescrise de furnizor, uleiul din transformator trebuie uscat și curățat cu multă atenție, ceea ce necesită adesea cîteva luni.

Dacă nu sînt satisfăcute condițiile impuse de tansportul unităților de transformare (pe șosele, poduri, căi ferate etc.), se poate adopta soluția executării acestora din unități monofazate. Desigur că în aceste situații se recomandă în plus cîte o unitate de transformator monofazat, pentru a mări în acest fel gradul de rezervare a evacuării energiei electrice în rețelele sistemului energetic.

În cazul în care vor fi cerute unități de transformare și mai mari (în prezent se întrevede utilizarea transformatoarelor cu puteri pînă la 3600 MVA) și nu este posibil transportul lor pe apă, acestea se vor transporta în bucăți și vor fi asamblate și probate pe șantier.

În cazul țării noastre, cu posibilitățile de care se poate dispune ținînd seama de sarcina specifică pe osie admisă pe șosele, căi ferate și poduri, valoarea limită a puterii transformatoarelor ce pot fi transportate de la IEP Craiova la șantier poate fi de circa 400 MVA

(pentru centrala nuclearoelectrică Cernavodă s-a prevăzut transportarea transformatoarelor trifazate cu putere unitară de 440 MVA).

Această limită de putere prin execuţia unor unităţi monofazate, va putea asigura execuţia în ţară a racordării la reţelele de 400 kV din R.S.R. a blocurilor echipate cu generatoare cu puteri pînă la 1250 MVA.

1.3. Echipamentele electrice de înaltă tensiune

Pentru realizarea schemelor electrice propuse se întîmpină mari greutăţi, în special la tensiunea generatoarelor pentru asigurarea căilor de curent, a aparatelor de comutare şi a transformatoarelor de curent datorită valorilor foarte mari ale curenţilor electrici nominali (care ajung la circa 40 kA) şi curenţilor de declanşare la scurtcircuit (care ajung la circa 200 kA).

Conductoarele electrice se realizează, de regulă, sub forma unor tuburi metalice de diametru mare(circa 1 m) care, în special pentru rigidizarea lor, se execută sub formă de bare capsulate (de regulă izolate în aer). Întrerupătoarele la tensiunea generatorului sînt echipamente foarte complexe, atît pentru a rezista la eforturile dinamice ce intervin în instalaţie, cît şi pentru eliminarea degajărilor de căldură ce se produc la piesele de contact, în care scop se foloseşte o ventilaţie forţată ce funcţionează permanent. Caracteristicile deosebite pe care trebuie să le aibă aceste echipamente fac ca preţul lor de cost să fie foarte mare, ajungînd la nivelul de cost al întrerupătoarelor de foarte înaltă tensiune.

În scopul eliminării necesităţii întreruperilor marilor curenţi nominali şi de declanşare, unii furnizori au iniţiat renunţarea la dispunerea unor întrerupătoare la tensiunea generatorului, prevăzînd montarea lor numai la tensiunea înaltă a blocului (obţinînd o reducere a curenţilor nominali de circa 12 — 15 ori), considerînd că generatorul bloc cu transformatorul constituie în schemă un singur ansamblu tehnologic.

Datorită puterii unitare mari a blocurilor energetice din centralele nuclearoelectrice, orice ieşire din funcţiune a lor reprezintă pentru reţeaua în care debitează o pagubă apreciabilă, atît prin costul energiei electrice nelivrate, cît şi prin produsele ce nu au fost fabricate datorită lipsei acesteia (altfel spus prin cheltuiala necesară instalării în sistemul energetic a unei alte centrale electrice de putere similară, care să înlocuiască lipsa grupului nuclear respectiv). Sub acest aspect echipamentele electrice care se montează fie la tensiunea generatorului, fie la tensiunea înaltă a blocului, trebuie să fie de bună calitate, cerinţă valabilă pentru dotarea oricărui tip de centrală electrică de putere similară. Această concepţie a fost confirmată în discuţiile purtate în această problemă cu diferiţi specialişti din alte ţări (Canada, R.F.G., Franţa, U.R.S.S., R.P.U. etc). Se citează chiar cazul CNE Pecs din R.P.U. în care staţia de 400 kV de racordare la reţelele sistemului a fost executată cu echipamente electrice capsulate izolate în SF_6 pentru a se obţine o fiabilitate maximă, pentru ca ulterior personalul de exploatare a instalaţiei să afirme că ţinînd seama de costul foarte ridicat al acestui tip de echipamente nu s-a justificat acest tip de execuţie.

O situaţie similară s-a ivit şi la CNE Darlington — Canada, unde întreg echipamentul electric a fost realizat în construcţie capsulată izolată în SF_6, numai barele colectoare ale staţiei de racord la sistem au fost prevăzute să se realizeze în execuţia exterioară uzuală.

2. Cerinţe privind asigurarea calităţii echipamentelor şi serviciilor nucleare

2.1. Asigurarea calităţii

Asigurarea calităţii este o cerinţă care s-a impus recent în tehnica nucleară, în aeronautică şi în tehnica spaţială, respectiv în acele domenii în care siguranţa funcţionării este esenţială pentru asigurarea securităţii persoanelor şi evitarea unor posibile uriaşe pagube materiale [5].

Controlul calităţii se aplică începînd cu concepţia instalaţiei, de la proiectare, la alegerea materialelor, a subansamblurilor, a execuţiei, pe etape şi în faza finală, la montare, la probele de funcţionare şi în exploatare curentă. Controale tehnice s-au făcut însă din totdeauna. Noutatea constă acum în rigoarea şi modul sistematic în care se efectuează aceste controale, precum şi în felul în care aceste activităţi pot fi dovedite prin acte. Scopul lor este de a obţine siguranţa calităţii dorite şi în acelaşi timp de a putea dovedi prin documente seriozitatea cu care au fost efectuate.

Pentru a obţine nivelul de calitate cerut proiectantul, fabricantul, montorul şi organizaţiile de exploatare au fost dotaţi cu aparatură adecvată. Efectuarea acestor controale, asigurarea utilajului şi a personalului necesar pentru efectuarea lor şi păstrarea documentelor respective necesită, evident, cheltuieli suplimentare apreciabile : dar acesta nu este un motiv pentru a le banaliza şi extinde acolo unde controlul uzual al calităţii echipamentelor şi serviciilor este suficient.

Organizarea, modul de aplicare în diferite faze şi interfeţele între diferiţi participanţi sînt descrise în proceduri de asigurare a calităţii. Acestea sînt completate cu specificaţii, instrucţiuni şi modalităţi de aplicare. Abaterile, care totuşi se fac în această situaţie, sînt caracterizate drept acceptabile, returnate spre corijare şi refuzate.

Pentru obţinerea calităţii care în prezent este unanim acceptată în domeniul nuclear, s-au purtat vii discuţii şi s-a publicat mult, furni-

zîndu-se, astfel, un material propagandistic folosit abil de mișcarea ecologică din diverse țări. Astfel, este de amintit filmul „Sindromul China" din anii 1979, apărut pe ecran tocmai în zilele accidentului de la CNE Three Mile Island din S.U.A., care punea problema răspunderii grave a lipsei de calitate în execuția echipamentului nuclear [6].

Lăsînd de o parte problemele propagandistice ca și succesele de casă urmărite, asigurarea calității a condus în mod efectiv, în unele situații, la luarea unor măsuri excepționale. Astfel, după accidentul în care un avion DC — 10 al unei companii aviatice turce s-a prăbușit în Franța, cauzînd moartea tuturor pasagerilor, s-a constatat că aceasta a avut loc prin depresurizarea bruscă, la mare altitudine, a cabinei pasagerilor prin smulgerea portierei avionului, fapt ce a dus și la ruperea ambelor cabluri electrice (de comandă și de rezervă) ale profundorului din coada aparatului, aceste cabluri fiind pozate pe un același traseu pe deasupra ușii avionului. Concluzia anchetei a determinat ca, printr-o lege, în S.U.A. la toate centralele nuclearoelectrice existente cablurile electrice care se rezervează să fie pozate pe trasee separate (lucru care în centralele electrice din R.S.R. se face în mod curent), modificări care au condus la întreruperea funcționării multor centrale nucleare și la mari întîrzieri în punerea în funcțiune a altora (exemplu cazul CNE Fort St. Vrain în filiera HTGR).

Tot în S.U.A. comisia federală care a efectuat controlul calității a ajuns la concluzia abandonării lucrărilor începute la CNE Zimmer din statul Cincinatti, echipată cu reactoare în filiera BWR, cu puterea de 2 × 810 MWe, deoarece la execuția acesteia se încălcau frapant o serie de măsuri de siguranță și calitate, a căror remediere ar fi costat mai mult decît se investise în lucrare pînă la acea dată [2].

Nesocotirea unor asigurări de calitate, în special în condiții de exploatare, a condus la gravul accident de la CNE Cernobîl—U.R.S.S., care a cauzat moartea unui mare de număr persoane și pagube materiale estimate la 2,7 miliarde dolari.

În concluzie, este de reținut că problemele asigurării calității echipamentelor și serviciilor pentru obiectivele nucleare, reprezintă în principal o stare de spirit de care trebuie să fie animat întreg personalul care lucrează în acest domeniu. Acest personal trebuie să fie convins și responsabil de rolul său în fața societății. Calitatea devine astfel o problemă a tuturor [7].

2.2. Urmărirea calității produselor și serviciilor destinate obiectivelor nucleare în R.S.R.

Asigurarea calității produselor și serviciilor destinate obiectivelor industriale este reglementată în R.S.R, prin următoarele legi:

Legea nr. 7/1977 pentru calitatea produselor și serviciilor pentru obiectivele cu caracter convențional, cuprinde:

- condițiile și documentele care definesc calitatea produselor industriale;
- asigurarea calității acestora în condiții de siguranță în funcționare și eficiență economică;
- controlul calității produselor și răspunderea materială pentru încălcarea normelor privind calitatea.

Legea nr. 6/1982 privind asigurarea calității obiectivelor și instalațiilor nucleare cuprinde reglementările menite să asigure în proiectare, în fabricație, în construcții-montaj și în exploatare, nivelul de calitate cerut de criteriile de securitate nucleară, de siguranță în exploatare și de eficiență economică a obiectivelor și instalațiilor nucleare (extras din cap. I art. 3).

Siguranța în exploatare și eficiența economică se urmăresc și prin prevederile cuprinse în Legea nr. 7/1977 privind instalațiile convenționale; numai criteriul de securitate nucleară, care include totalitatea neajunsurilor produselor și serviciilor care pot conduce la un defect, punînd în pericol securitatea mediului înconjurător, caracterizează instalațiile la care se aplică prevederile Legii nr. 6/1982.

Cerințele specifice de calitate pentru produsele și serviciile destinate obiectivelor și instalațiilor nucleare se stabilesc prin norme republicane de asigurare a calității (NRAC) elaborate sau avizate de Comitetul de Stat pentru Energia Nucleară (extras din cap. VIII art. 75). Aceste norme simbolizate prin indicii AQ—01 pînă la AQ — 07 sînt întocmite pe grupe de activități cu referire la condițiile de asigurare a calității la beneficiar, la proiectant, la procurarea echipamentelor, la fabricarea echipamentelor, la prestarea serviciilor (construcții-montaj), la activitățile de punere în funcțiune și la exploatarea obiectivelor nucleare.

Stabilirea modului în care fabricarea echipamentelor trebuie sau nu să corespundă cerințelor prevăzute prin Legea nr. 6/1982 se face în conformitate cu prevederile din NRAC, seria AQ— 04, cap. VII, prin care se iau în considerare șase criterii de apreciere care se evaluează cu un punctaj ce poate fi ponderat după importanța criteriului respectiv, însumarea lor, pe baza tabelului 7.1., stabilind categoria prelimimară de asigurare a calității echipamentelor respective care se poate grada în cinci categorii, prima fiind ce mai pretențioasă, iar a 5-a, corespunzînd execuției convenționale conform prevederilor Legii nr. 7/1977 [8].

Pentru a asigura o conlucrare mai eficientă în vederea asigurării calității produselor și serviciilor destinate instalațiilor nucleare, prin Legea nr. 6/1982 se precizează că proiectarea, fabricația, prestarea serviciilor, precum și exploatarea acestor obiective se pot efectua numai

în baza autorizației de asigurare a calității eliberată de Comitetul de Stat pentru Energia Nucleară (extras din cap. II, art. 3). Această prevedere are printre altele, sensul că este considerată rațională numai asigurarea cerințelor de calitate pentru obiectivele nucleare la întregul grup de activități specifice în NRAC seriile AQ — 01 pînă la AQ — 07, prevederile de asigurare a calității nucleare numai la unele din activitățile de mai sus fiind nejustificate și ineficiente.

În sfîrșit, cunoscînd că asigurarea tuturor cerințelor menționate de NRAC seriile AQ — 01 pînă la AQ — 07 conduc la un supliment de cost de investiție (aproximativ cu 25% în plus), pentru limitarea arbitrariului, abuzurilor și prevenirea risipei fondurilor de investiție, s-a hotărît că obiectivele și instalațiile nucleare cărora li se aplică prevederile Legii nr. 6/1982 se stabilesc prin Decret al Consiliului de Stat (extras din cap. III, art. 18).

În lumina celor de mai sus s-a analizat problema produselor și serviciilor pentru racordurile de linii electrice aeriene de înaltă tensiune și pentru stația electrică de legare la Sistemul Energetic Național a CNE Cernavodă, ținîndu-se seama de următoarele aspecte :

— calculul efectuat conform NRAC seria AQ — 04 în baza cap. VII pentru stabilirea preliminară a categoriei de asigurare a calității a condus la încadrarea lucrărilor menționate în categoria de calitate a instalațiilor cu caracter convențional ;

— racordurile liniilor electrice aeriene de înaltă tensiune și stația electrică de 400 kV nu constituie obiective care pot afecta securitatea nucleară a zonei, întrucît nici la cea mai gravă avarie a acestora (distrugerea lor în totalitate) nu sînt afectate funcțiile de securitate nucleară ale reactoarelor (în conformitate cu ghidul AECL nr. 79 — 03650 — DC — 001, ed. 1980 Safety Related Systems and Structures Classifications) ;

— din literatura de specialitate consultată și din discuțiile purtate cu diverși specialiști a reieșit că la nici una din centralele nucleroelectrice realizate în alte țări nu se pretind cerințe de calitate pentru obiectivele nucleare la lucrări de linii electrice de înaltă tensiune și stații electrice de racord la sistemul energetic [9].

Pe baza celor menționate, lucrările privind liniile electrice respective și stația de 400 kV de legare la sistem a CNE Cernavodă au fost avizate, prin Decretul de Stat nr. 403/1985, ca lucrări industriale cu caracter convențional supuse cerințelor de asigurare a calității în conformitate cu Legea nr. 7/1977. Se precizează totodată că, în conformitate cu prevederile NRAC, produsele și serviciile efectuate pentru obiectivele și instalațiile nucleare în baza Legii nr. 6/1982, se referă la aceleași echipamente și servicii ca și în cazul instalațiilor convenționale, cu cerința suplimentară că asigurarea calității lor trebuie să poată fi dovedită prin documente scrise și autorizate.

3. Amplasarea stațiilor electrice

3.1. Amplasarea echipamentelor căii de producere a energiei electrice

Clădirea sălii mașinilor în care se amplasează turbogeneratorul se situează, de regulă, în apropierea clădirii reactorului (eventual avînd interpusă între ele clădirea pentru dispozitivele și electropompele din serviciile proprii ale reactorului), lîngă care se dispun schimbătoarele de căldură în așa fel încît conductele pentru abur și pentru apa de răcire să fie cît mai scurte și cu trasee cît mai lipsite de coturi.

Nu se recurge întotdeauna la realizarea unei clădiri pentru sala mașinilor, ci, ca și în cazul centralelor electrice convenționale, funcție de condițiile climatice specifice, turbina și generatorul se pot dispune în aer liber, realizînd unele acoperișuri ușoare împotriva intemperiilor în locuri în care personalul de exploatare are puncte obligatorii de supraveghere.

Acesta este cazul CNE Turkey Point din Florida S.U.A., situată aproximativ pe aceeași paralelă cu orașul Cairo, prevăzută cu patru reactoare în filiera PWR și echipată cu turbogeneratoare de cîte 738 MW, furnizor Westinghouse [10] (p.i.f. 1972 — 1973).

Dispoziția turboagregatelor față de aliniamentul clădirilor reactoarelor, în caz că sînt mai multe pe același amplasament, se face, de la caz la caz, cu axul longitudinal paralel (exemplul CNE Bugey — fig. 2) sau perpendicular (exemplu CNE Biblis — fig. 3, CNE Paluel — fig. 4) pe acesta, în funcție de terenul disponibil și în general funcție de condițiile locale.

Legat de această dispoziție, se amplasează în imediata apropiere a generatorului grupului transformatorul de bloc și acelea de servicii proprii, pentru ca lungimea căilor de curent electrice să fie cît mai mică posibil, întrucît ele au, de regulă, o construcție greoaie, fiind realizate, din motive de siguranță, în construcții capsulate. Această dispoziție este de altfel clasică, fiind întîlnită la toate grupurile de mare putere din centralele convenționale.

3.2. Amplasarea stației de alimentare a serviciilor proprii

Alimentarea consumatorilor de servicii proprii din centralele nuclearoelectrice se face în principal de la bornele generatoare de bloc, iar alimentarea de rezervă a acestora se asigură printr-o stație electrică racordată la rețelele de înaltă tensiune din zonă. Această stație pentru alimentarea de rezervă a consumatorilor serviciilor proprii se folosește de cele mai multe ori și ca stație de pornire a centralei nucleare

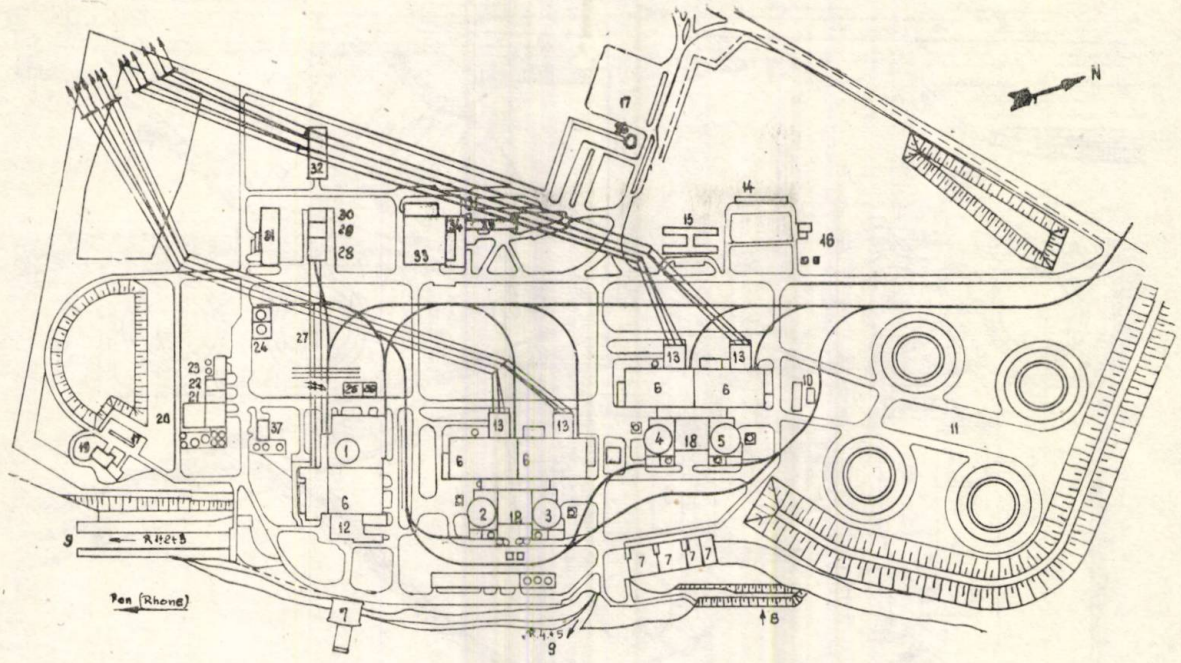


Fig. 2. Planul general al CNE Bugey Franţa (p.i.f. 1972–1983): 1 — reactor 1 GCR 540 MWe; 2 — reactor 2 PWR 920 MWe; 3—reactor 3 PWR 920 MWe; 4—reactor 4 PWR 900 MWe; 5 — reactor 5 PWR 900 MWe; 6 — sala maşinilor; 7 — staţia de pompe; 8 — priza de apă; 9 — restituirea apei; 10 — staţia de pompe de recirculare a apei; 11 — turnuri de răcire cu tiraj natural; 12 — conexiuni 225 kV; 13 — conexiuni 380 kV; 14 — infirmerie şi laboratoare; 15—clădirea administrativă; 16—post electric pentru tratarea apelor; 17 — parcaj; 18 — clădiri pentru instalaţii auxiliare nucleare; 19 — restaurant; 20 — instalaţie de demineralizare; 21 — centrală termică; 22 — staţie de compresoare de aer; 23 — depozit CO_2; 24 — depozit păcură; 25 — depozit CH_4; 26 — depozit O_2; 27 — arie pentru stocajul de grafit iradiat; 28 — depozit pentru deşeuri radioactive solide; 29 — depozit piese grele; 30 — depozit de cărbune; 31 — depozit de uraniu; 32 — depozit deşeuri slab radioactive; 33 — centru comercial; 34 — centrală telefonică; 35 — bloc administrativ şi policlinică; 36 — sală de conferinţe; 37 — centrală diesel de intervenţie.

pentru alimentarea consumatorilor necesari, după o perioadă de lungă nefuncţionare a acesteia.

La amplasarea acestei staţii, trebuie să se ţină seama dacă aceasta deserveşte şi alţi consumatori din zonă sau exclusiv numai consumatorii centralei nuclearoelectrice.

În primul caz această staţie poate fi situată la o anumită distanţă de amplasamentul centralei nucleare (funcţie de tensiunea de alimentare folosită), transformatoarele coborîtoare de servicii proprii situate în incinta centralei nucleare urmînd a fi alimentate prin linii electrice radiale. Acesta este cazul CNE Asco Spania şi al CNE Enrico Fermi II — S.U.A.

În al doilea caz este indicat, din motive economice şi de exploatare, ca aceasta să fie situată în incinta centralei nucleare cît mai aproape de consumatorii deserviţi (vezi fig. 2 pentru CNE Bugey — Franţa).

Ţinînd seama de numărul mare al consumatorilor serviciilor proprii de bloc ce trebuie alimentaţi şi pe baza unor studii tehnico-economice de detaliu, analizîndu-se un număr mare de variante posibile s-a propus şi s-a acceptat să se adopte această soluţie, cu dispunerea staţiei electrice de alimentare exclusivă a serviciilor proprii în incintă şi în cazul CNE Cernavodă. S-a urmărit prin aceasta să se micşoreze cît mai mult pierderile tehnologice pe liniile de alimentare, staţia respectivă cu tensiunea nominală de 110 kV echipată cu bare duble colectoare, secţionate ambele în lung cu o cuplă cu întrerupător, fiind alimentată prin cîte două racorduri de 400 kV din zonă şi prin două transformatoare trifazate de 400/110 kV 250 MVA. S-a urmărit ,de asemenea, ca întreaga staţie să fie exploatată de personalul centralei nucleare Cernavodă şi subordonată numai intereselor acesteia, fără a fi afectată şi de alte obligaţii ale unei întreprinderi de exploatare separate, ce are în sarcină şi alimentarea altor consumatori.

În cazul centralei nuclearoelectrice Cernavodă s-a adoptat ca schemă normală de alimentare a consumatorilor de servicii proprii alimentarea a 50 % din aceştia de la bornele generatoarelor prin două transformatoare 24/10/6 kV, unul din ele fiind menţinut în rezervă, şi a celorlalţi 50 % din staţia de 110 kV de servicii proprii prin două transformatoare 110/10/6 kV, cel de al doilea fiind menţinut în rezervă, toate aceste unităţi avînd puterea nominală de 60/30/30 MVA [11].

S-a urmărit prin aceasta ca în cazul căderii totale a oricăreia din cele două surse, consumatorii serviciilor proprii să mai poată rămîne ali-

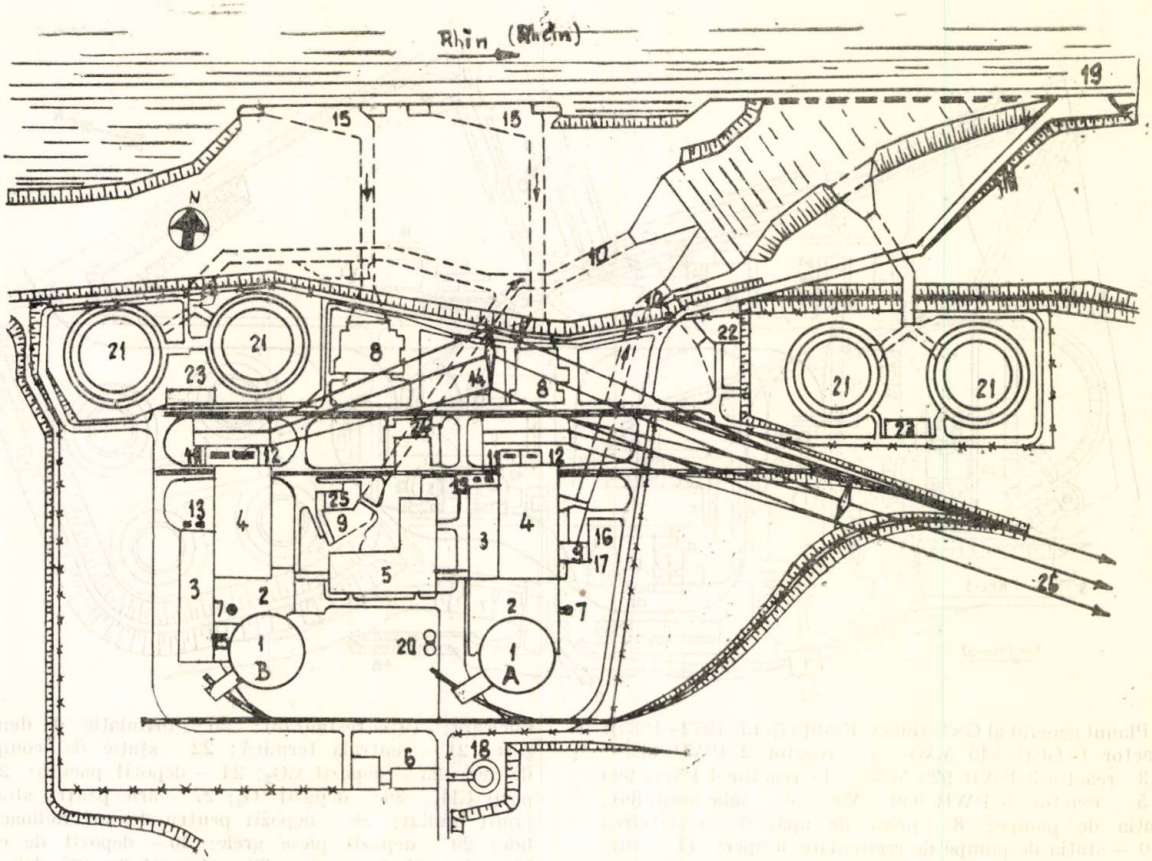


Fig. 3. Planul general al CNE Biblis bloc A (p.i.f. 1974) și bloc B (p.i.f. 1976), R.F.G.: 1 — clădirea reactorului; 2 — clădirea instalațiilor de intervenție la reactor; 3 — clădirea stației electrice de SP și de siguranță; 4—sala mașinilor; 5 — clădirea instalațiilor auxiliare; 6 — clădirea serviciilor administrative; 7 — coș de ventilație; 8 — stație de pompe pentru intrarea apei de răcire; 9 — distribuitorul canalelor apei calde; 10 — canale de restituire a apei; 11 - stația de 400 kV (220 kV); 12 — trafo de bloc; 13 — trafo SP; 14—fundație pentru trafo bloc de rezervă; 15—priză de apă de răcire; 16 — stația de pompe de apă de stropire; 17 — instalații de decantare; 18 — centru de informare; 19 — port; 20 — rezervoare de ionizare;- 21 — turn de răcire naturală; 22 — stație de pompe a turnurilor de răcire; 23 — stație conexiuni pentru stația de pompe; 24 — garaj auto; 25—construcție intermediară.

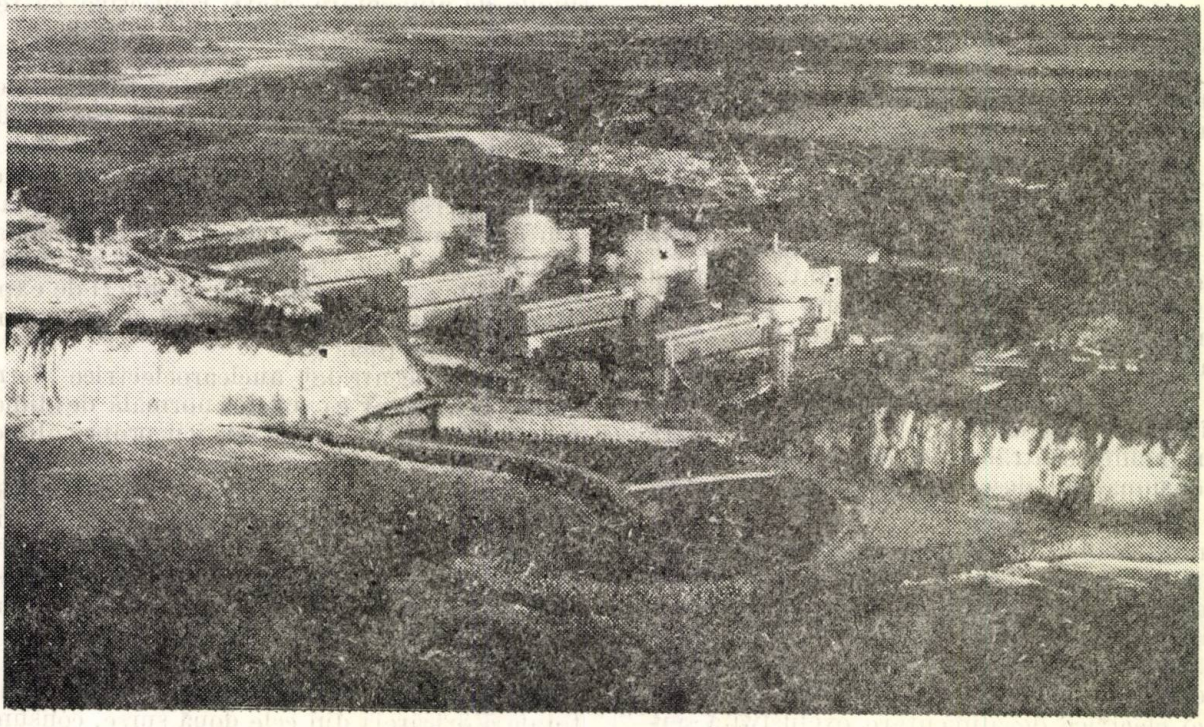


Fig. 4. CNE Paturel Franța PWR, 4×1300 MWe. Vedere generală.

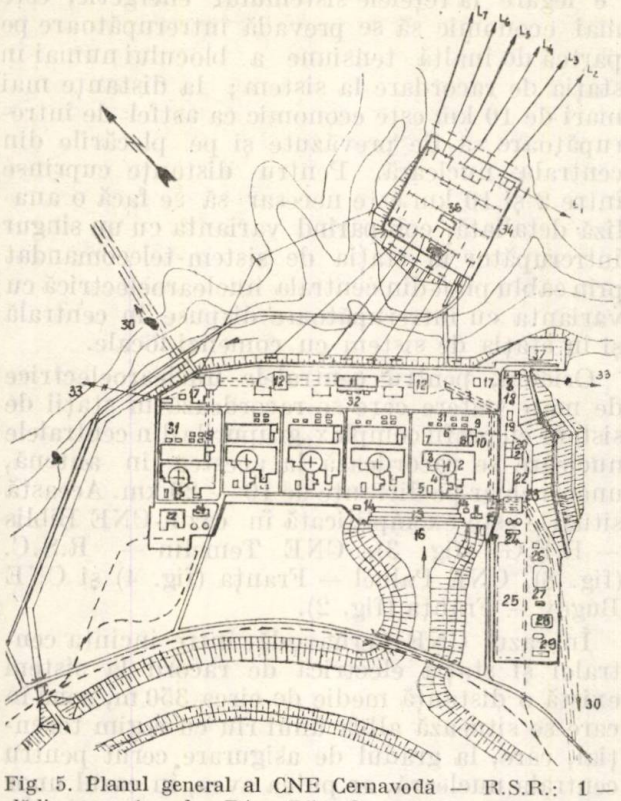


Fig. 5. Planul general al CNE Cernavodă — R.S.R.: 1 — clădirea reactoarelor R1 — R5; 2 — clădirea SP nucleare; 3 — coș de ventilație; 4 — clădirea sistemelor electrice de avarie și camera de comandă pe bloc; 5 — clădirea treptei de înaltă presiune pentru răcirea de avarie a zonei active; 6 — sala mașinilor; 7 — corp degazoare; 8 — corp electric; 9 — centrală diesel electrică; 10 — corp ventilație; 11 — stație electrică 110 kV; 12 — bazine sifoane apă caldă; 13 — stație pompe apă răcire și casa sitelor; 14 — dispecer apă răcire; 15 — pavilion coordonare; 16 — priza de apă; 17 — depozit gaze tehnice; 18 — rezervor apă potabilă; 19 — stație H_2; 20 — centrală termică; 21 — corp SP electrice comune; 22 — stație tratare apă; 23 — depozit echipamente; 24 — gospodărie incendiu; 25 — depozit aer liber; 26 — depozit acetilenă și oxigen; 27 — gospodărie păcură; 28 — depozit lubrefianți; 29 — depozit heliu; 30 — restituire apă caldă; 31 — trafo bloc și trafo SP; 32 — trafo SP 400/110 kV și trafo SP comune; 33 — LEA 110 kV zonale; 34 — stație 400 kV; 35 — bloc comandă; 36 — bloc SP; 37 — depozit deșeuri slab radioactive.

mentați parțial, limitîndu-se astfel perturbațiile majore în exploatare. Separat de racordul transformatoarelor de servicii proprii alimentate din rețea, la fiecare pereche de secții de bare de 110 kV se prevede racordarea și a cîte unui transformator 110/6 kV 16 MVA pentru alimentarea serviciilor proprii comune ale CNE Cernavodă.

Stația de 110 kV de alimentare exclusiv a serviciilor proprii ale CNE Cernavodă este realizată, din motive de siguranță și economie de teren, de tip interior, într-o clădire dispusă între grupurile nr. 2 și 3 din centrală. Fiecare pereche de secții de bare de 110 kV din această stație mai dispune de cîte două linii de 110 kV racordate în stații electrice separate din zonă. Această schemă a urmărit, pe lîngă asigurarea alimentării de rezervă a acestei stații, și realizarea pe barele stației a puterii necesare pornirii marilor electromotoare ale pompelor de răcire din CNE Cernavodă.

Întrucît în cadrul CNE Cernavodă s-a urmărit totodată și o uniformizare a instalațiilor electrice la fiecare grup, poziția centrală a stației de 110 kV între aceste grupuri a permis racordarea transformatoarelor 110/10/6 kV amplasate în dreptul sălilor de mașini a fiecărui grup prin racorduri electrice relativ scurte de cabluri de 110 kV, asigurînd însă, pentru unul din transformatoarele de servicii proprii a grupului nr. 2 și pentru ambele transformatoare de 16 MVA de servicii proprii comune, racorduri electrice aeriene de 110 kV.

Amplasarea celor patru transformatoare, de 2×250 MVA și 2×16 MVA, s-a făcut în lungul clădirilor stației de 110 kV de servicii proprii pe partea dinspre sala mașinilor, astfel că aceste transformatoare să utilizeze în comun cu transformatoarele de bloc și de servicii proprii o aceeași cale de rulare dispusă în lungul incintei CNE Cernavodă.

3.3. Amplasarea stației de racord la rețelele sistemului energetic

Stațiile electrice de conexiuni de înaltă tensiune ale centralelor nuclearoelectrice se pot amplasa fără nici un fel de restricții (inclusiv fără creșterea izolației electrice în instalație) în imediata vecinătate a reactoarelor nucleare, nici una din eventualele tipuri de radiații de scăpări neinfluențînd izolația instalațiilor electrice propriu-zise.

Atîta vreme cît schema electrică de conexiuni este simplă și profilul centralei redus la una sau două unități, stația de conexiuni necesită un un spațiu restrîns de realizare și deci poate fi amplasată în incinta centralei nuclearoelectrice sau alăturat acesteia (de exemplu CNE Pickering din Canada — fig. 6).

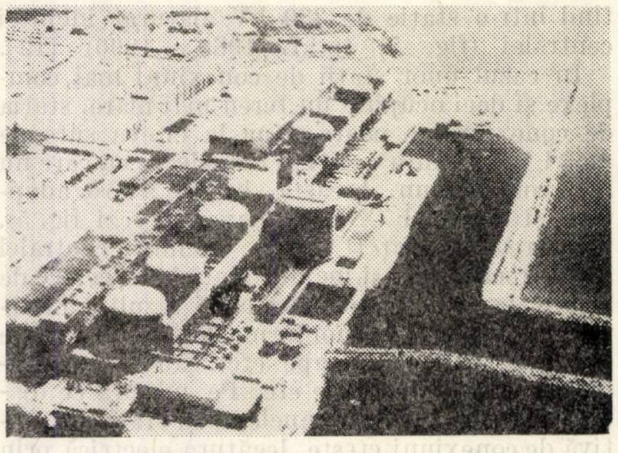


Fig. 6. CNE Pickering Canada. Vedere generală.

O situație analoagă se constată și în cazul centralei nuclearoelectrice și de termoficare Odesa care este echipată cu două reactoare de tipul PWR 1000 MWe, fiecare avînd cuplat cîte două turbogeneratoare de 500 MW debi-

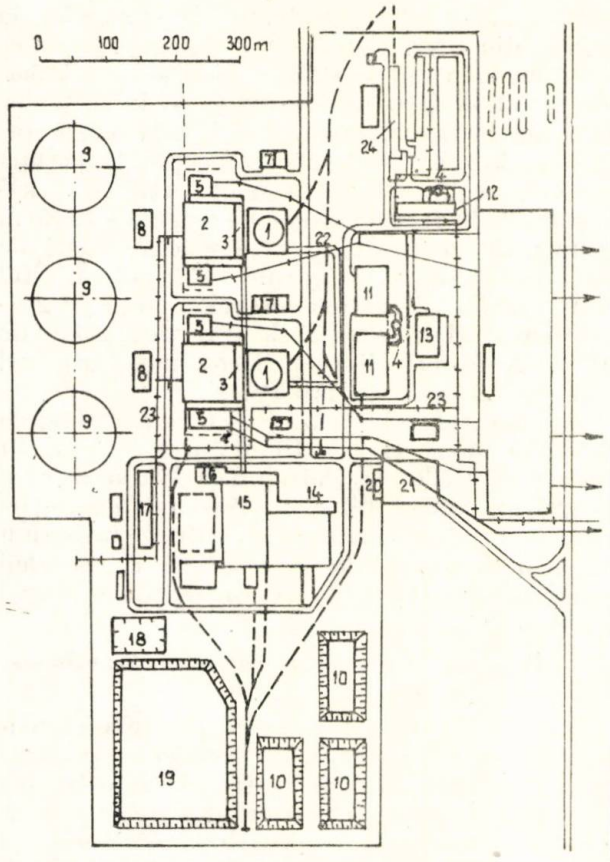


Fig. 7. Planul general al CNE şi de termoficare Odesa, U.R.S.S.: 1 — clădirea reactorului; 2 — sala maşinilor; 3 — corp degazoare; 4 — coş ventilaţie; 5 — trafo bloc; 6 — staţia 330 kV; 7 — clădire diesel; 8 — staţie pompe; 9 — turn de răcire; 10 — bazin stropire; 11 — clădire specială; 12 — CET; 13 — instalaţie preparare; 14 — bloc administrativ; 15 — bloc comandă; 16 — cantină; 17 — depozit lubrefianţi; 18 — gospodărie apă potabilă; 19 — depozit şlam; 20 — poartă; 21 — parcaj; 22— estacadă transport deşeuri radioactive; 23 — conducte termice; 24— staţie descărcare.

tînd într-o staţie de 330 kV alăturat incintei centralei (fig. 7) (p.i.f. 1988 — 1990) [12].

În cazul unor staţii de conexiuni mai complexe şi deci ocupînd un teren mai mare, staţia de conexiuni se poate situa la cîteva sute de metri de incinta centralei nucleare cu care nu face corp comun. Această situaţie a fost adoptată şi în cazul CNE Cernavodă (vezi fig. 5). Creşterea distanţei dintre incinta centralei nuclearoelectrice şi incinta staţiei respective de legare la sistem are adesea ca rezultat interpunerea între ele a unor forme de relief deosebite (văi, rîpe, cursuri de ape etc). sau a unor drumuri publice, căi ferate etc. Pe măsură ce distanţa dintre centrala nucleară şi staţia respectivă de conexiuni creşte, legătura electrică prin cabluri de comandă, control, telefonice etc. este mai greu de executat în condiţii de fiabilitate acceptabilă.

Calculele tehnico-economice efectuate pentru astfel de cazuri au evidenţiat că în R.S.R. pînă la o distanţă de circa 2 km între centrală şi staţia de legare la reţelele sistemului energetic, este mai economic să se prevadă întrerupătoare pe partea de înaltă tensiune a blocului numai în staţia de racordare la sistem ; la distanţe mai mari de 10 km este economic ca astfel de întrerupătoare să fie prevăzute şi pe plecările din centrala nucleară. Pentru distanţe cuprinse între 2 şi 10 km este necesar să se facă o analiză detaliată, comparînd varianta cu un singur întrerupător în staţia de sistem-telecomandat prin cablu pilot din centrala nuclearoelectrică cu varianta cu întrerupătoare dispuse în centrală şi în staţia de sistem cu comenzi locale.

Oricum, pentru centralele nuclearoelectrice de mare putere care se racordează în staţii de sistem cu profil complex, grupurile din centralele nucleare se racordează la acestea în antenă, uneori chiar pe distanţe de 10 — 20 km. Această situaţie este exemplificată în cazul CNE Biblis — R.F.G. (fig. 3), CNE Temelin — R.S.C. (fig. 8), CNE Paluel — Franţa (fig. 4) şi CNE Bugey — Franţa (fig. 2).

În cazul CNE Cernavodă, între incinta centralei şi staţia electrică de racord la sistem există o distanţă medie de circa 350 m, zonă în care se situează albia unui rîu cu regim torenţial, care, la gradul de asigurare cerut pentru centrala nucleară, ar putea avea, în cazul unor ploi torenţiale, un debit de circa 400 m^3/s. În aceste condiţii, peste această vale s-a prevăzut realizarea unei estacade pietonale (iar în etapa finală pentru secţiile următoare de bare şi o a doua estacadă) pe care vor trece fluxurile de cabluri electrice de legătură între centrală şi staţia electrică de sistem.

Concluzii

Problemele asigurării calităţii echipamentelor şi serviciilor urmează cerinţele execuţiei nucleare numai pentru acele părţi din centralele electrice care pot afecta în mod direct securitatea nucleară a zonei prin degajări de radiaţii şi efluenţi radioactivi. Evident, această problemă se referă nu numai la unele părţi din centralele nucleare, dar şi la orice alte industrii sau laboratoare de cercetări care prin profilul lor prezintă riscul de contaminare a mediului înconjurător.

Din informaţiile de care se dispune, în nici una din ţările care au în construcţie centrale nuclearoelectrice, echipamentele şi serviciile staţiilor de racord la reţelele de înaltă tensiune nu au fost supuse cerinţelor nucleare, echipamentele respective fiind de aceeaşi bună calitate ca şi pentru toate celelalte obiective energetice din sistem. Această situaţie rezultă din consultările avute cu specialiştii din mai multe ţări (U.R.S.S., R.F.G., R.P.U., Franţa), fiind confirmată şi de faptul că adesea grupurile din centralele nuclearoelectrice debitează energia prin racorduri de linii electrice aeriene cu lun-

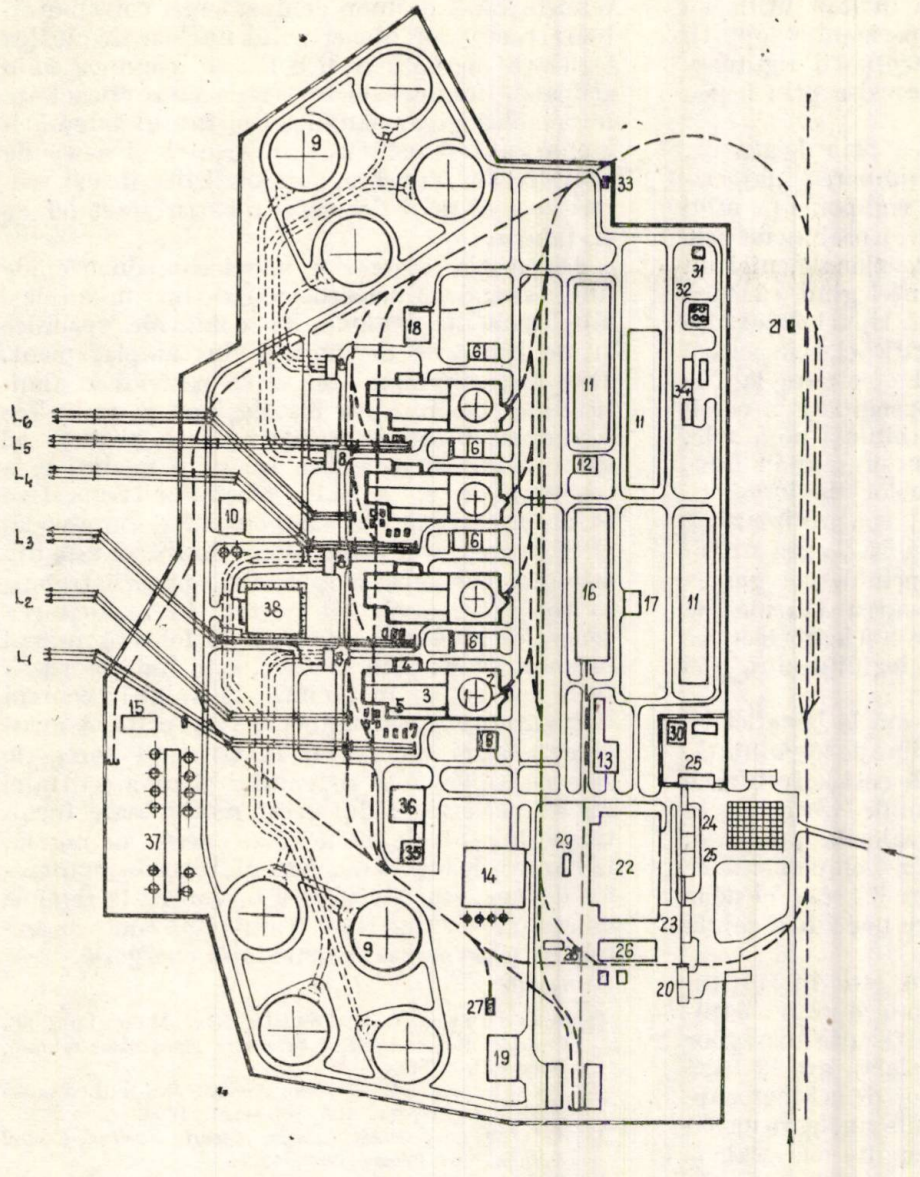


Fig. 8. Planul genetal al CNE Temelin 4×VVER 1000 MW, R.S.C.: 1 — clădire reactor; 2 — coș ventilație; 3 — sala mașinilor; 4 — clădire boilere termoficare; 5 — clădire stație electrică; 6 — centrala diesel; 7 — trafo bloc; 8—stația pompe apă răcire; 9 — turnuri de răcire; 10—stație pompe termoficare; 11 — bazin răcire prin stropire; 12—stație purificare la bazinele 11; 13 — depozit chimicale de tratare a apei; 14 — stație demineralizare apă circuit primar și secundar; 15 — depozit argilă tratare ape; 16— laborator nuclear; 17 — stație tratare deșeuri radioactive solide și lichide; 18 — depozit combustibil nuclear uzat; 19—stație compresoare aer; 20—remiza PSI; 21 — stație CF; 22 — depozite, ateliere, piese rezervă; 23 — dispensar medical; 24, 28 — depozit gaze tehnice; 25 — clădire administrativă; 26— atelier, depozit; 27 — atelier sablare turbină; 29 — depozit ulei; 30 — corp pază; 31 — stație apă potabilă; 32 — depozit deșeuri; 33 — foișor pază; 34 — stație separare ulei; 35 — camera de comandă; 36 — anexe electrice; 37 —stație pretratare ape; 38 — gospodărie ape demineralizate.

gimi de circa 10 km sau chiar mai mari, pînă în stația electrică de legare la sistemul energetic, dar în această situație cerința unei calități deosebite a echipamentelor pentru stația de racord la rețelele sistemului este compromisă de fiabilitatea cu mult mai redusă a racordurilor de linie.

În ceea ce privește problema echipamentelor electrice produse în țara noastră, este bine cunoscut, din rapoartele periodice întocmite de ICEMENERG și de întreprinderile regionale de exploatare a rețelelor electrice, nivelul redus al fiabilității acestora, situație care a determinat înființarea unor grupe permanente de control suplimentar al calității din partea beneficiarului M.E.E. la principalii furnizori de echipamente. Aceste grupe de control își desfășoară activitatea în concordanță cu prevederile Legii nr. 7/1977 de asigurare a calității obiectivelor industriale convenționale și și-au dovedit eficiența în numeroase cazuri; totuși, ținînd seama de dificultățile legate de producerea echipamentelor electrice, adesea beneficiarul din M.E.E. este pus în situația de a accepta unele compromisuri între termenul de livrare solicitat și calitatea ireproșabilă a echipamentelor furnizatc.

În prezent, există printre beneficiarii stațiilor electrice de racord la rețelele SEN a centralelor nuclearoelectrice ce se realizează în țară convingerea, în parte explicabilă, că s-ar putea obține un spor de calitate a echipamentelor executate în conformitate cu prevederile Legii nr. 7/1977, prin execuția acestora în conformitate cu prevederile Legii. nr. 6/1982 pentru instalațiile nucleare. Această nouă ocazie a și fost luată în considerare de furnizori, constituind un pretext pentru a solicita sporuri de costuri pe aparat cuprinse între 25 — 35%; la o analiză mai detaliată a acestor costuri, s-a

constatat că ele se datorează în fapt utilizării unor materiale de calitate superioară, adoptării unor finisaje mai atente şi efectuării riguroase a controalelor de calitate prescrise prin Legea nr. 7/1977.

Se menţionează totodată că prin Legea nr. 6/1982 nu se solicită nici schimbarea materialelor şi reperelor ce intră în componenţa unui aparat şi nici nu se cer finisaje deosebite de cele aplicate echipamentelor convenţionale, nici un furnizor din străinătate neînţelegînd să facă pentru un acelaşi aparat două tipuri de execuţie, ci numai două feluri de verificări, cele pentru echipamentele nucleare fiind efectuate la fiecare etapă de execuţie şi consemnate în certificate de control cu responsabilităţi nominale. În baza legislaţiei valabile în prezent în ţară, pentru a evita risipa fondurilor de investiţii şi abuzurile de interpretare, se precizează că toate obiectivele la care se aplică Legea nr. 6/1982 trebuie să fie aprobate prin decret guvernamental, aprobare care pentru staţiile de racord la SEN ale centralelor nuclearoelectrice nu există prin exprimarea legiuitorului, nici nu ar trebui să existe.

În această situaţie se manifestă la beneficiarii investiţiilor respective o atitudine de îngăduinţă, acceptînd plata unor sporuri de cost la furnizorii de echipamente din economiile obţinute la realizarea lucrării faţă de valorile aprobate, fără a mai pretinde execuţia echipamentelor conform prevederilor Legii nr. 6/1982, ci doar pentru a obţine o ameliorare necuantificabilă a calităţii acestora.

Această atitudine, care nu este în spiritul legilor ţării (prevederile actuale opresc cheltuirea economiilor rezultate la execuţia lucrărilor pe teren fără o aprobare specială), are la bază înţelegerea aparte a furnizorilor de echipamente din ţară, care pentru instalaţiile nucleare urmăresc să execute noi produse, cu alte materiale şi cu alte finisaje (aparate care ar trebui în cele din urmă încercate ca noi produse) în loc de a executa acelaşi aparat din producţia curentă, care ar trebui însă să fie de calitate corespunzătoare, aplicînd controale detaliate care să ateste caracteristicile fiecărui material sau reper component în conformitate cu caietul de sarcini aprobat. Numai aceste activităţi de control însoţite de ţinerea evidenţei lor scrise, ar putea justifica un anumit spor de cost al aparatelor respective.

În situaţiile de mai sus, pentru echipamentele electrice ale staţiilor de racord la SEN ale centralelor nuclearoelectrice trebuie insistat atît la furnizorii, cît şi la controlul de calitate al M.E.E. să se organizeze şi să se efectueze verificări reale pe fluxul de producţie ale materialelor, subansamblurilor şi echipamentelor respective, pentru creşterea, prin mijoace stimulatoare, prin premii şi amenzi, a conştiinciozităţii şi responsabilităţii îndeplinirii acestor controale. Sub acest aspect, prevederea în staţiile electrice de racord la reţelele SEN a unor echipamente corespunzătoare cerinţelor obiectivului nuclear ar încălca legislaţia actuală a R.S.R., ar conduce la o risipă de fonduri de investiţie cu o eficacitate îndoielnică şi ar banaliza conţinutul asigurărilor de calitate pentru echipamentele şi serviciile obiectivelor nucleare, minimalizînd însuşi scopul acestei griji deosebite pentru acest fel de instalaţii.

Dispoziţia diverselor părţi componente ale unei centrale nuclearoelectrice într-un acelaşi amplasament depinde de condiţiile specifice şi de numărul de unităţi în amplasament. Deşi este recomandabil să se păstreze o similitudine (blocizare) a instalaţiilor şi o aliniere a amplasamentelor relative, este posibilă şi chiar utilizată în multe cazuri o nealiniere a reactoarelor şi a sălii maşinilor respective în amplasament (de exemplu CNE Cernavodă, CNE Bugey şi altele). Staţia de alimentare din sistemul energetic a serviciilor proprii trebuie să se găsească, pe cît posibil, în exploatarea centralei nucleare, pentru a fi folosită numai în acest scop; prin urmare, este bine ca ea să fie dispusă chiar în incinta centralei, în centrul de greutate al consumatorilor respectivi. Amplasarea staţiei de racord la sistemul energetic este o problemă a sistemului şi nu a centralei nuclearoelectrice; din acest motiv toate furniturile de centrale nucleare se opresc, de regulă, la bornele de înaltă tensiune ale transformatoarelor de bloc, staţia electrică de racord la reţelele de înaltă tensiune fiind tratată sub toate aspectele ca o investiţie a sistemului energetic.

Bibliografie

[1] Burducea, C., Moţoiu, C., Mingiuc, C. *Centrale nuclearoelectrice de putere mare.* Ed. Tehnică, Bucureşti, 1974.

[2] Boiteaux, M. *Rapport Annuel.* În: Bull. d'Information ATEN, nr. 109, sep.—oct. 1974.

[3] * * * *Annual Plant Design Report Nuclear Central Stations.* În: Power, nov., 1975.

[4] Wanke, K. *Turbogeneratoren für Kernkraftwerke.* În: Technische Mitteilungen AEG-Telefunken, Jg 59, Hf. 1, 1969, p. 1—10.

[5] Leclerq, I. *L'Ère Nucléaire,* Paris, 1986.

[6] Tibal Duclaux, L. *„China Syndrome" ou „Overload"; qui a raison?* În: Revue Générale Nucléaire, nr. 3, 1979, p. 309—315.

[7] * * * *L'Assurance de la qualité.* În: Les Nouvelles Nucléaires nr. 4, ian. 1986.

[8] CSEN. *Cerinţe de asigurare a calităţii pentru produsele şi serviciile destinate obiectivelor şi instalaţiilor nucleare.* Bucureşti, Seria AQ-04, 1983.

[9] Grüner, W. *KWU 1000 MWe PWR. An advanced design to meet the needs of the international market place.* În: Nuclear Engineerig International, nr. 3, 1986, p. 30—37.

[10] * * * *New power to Florida with two 720 MW Westinghouse nuclear turbine generators (CNE Turkey Point).* În: Electric Light and Power, nov., 1974.

[11] Raşcu, P.E. *Unele probleme energetice principale ale construcţiei centralelor nuclearoelectrice. Schemele electrice de înaltă tensiune utilizate. Situaţia pe plan mondial.* În: Energetica 36, 1988, nr. 1, p. 22—32.

[12] Tartanikov, V. *Centrala nuclearoelectrică şi de termoficare Odesa.* În: Elektriceskii stanţii, nr. 8, 1982, p. 4—8.

(Primit la 17 noiembrie 1987, acceptat la 6 ianuarie 1988)

Asupra unor mijloace moderne de protecție a instalațiilor electroenergetice împotriva supratensiunilor

Prof. dr. ing. Nicolae Gavrilaș, ș.l. dr. ing. Mircea Gușă, ș.l. dr. ing. Adrian Baraboi *

Descriptori : supratensiuni, protecție, instalații electroenergetice

Introducere

Generalizarea folosirii, într-o serie de țări, a descărcătoarelor cu rezistențe neliniare din oxizi metalici pentru protecția împotriva supratensiunilor, în primul rînd în rețelele de înaltă și foarte înaltă tensiune, dar și în rețelele de medie tensiune, impune a lua în discuție înlocuirea și în țara noastră a descărcătoarelor clasice cu noile tipuri de descărcătoare moderne. S-ar putea obține astfel o reducere importantă a nivelurilor de izolație, însemnate economii de investiții și o creștere a fiabilității rețelelor de transport și distribuție a energiei electrice.

1. Limitele tehnice ale descărcătoarelor clasice

Dezavantajele descărcătoarelor clasice, cu rezistență neliniară din carbură de siliciu (DRV) sînt legate, în principal, de prezența în construcția lor a eclatoarelor de amorsare. Acestea au scopul de a împiedica închiderea, prin rezistorul neliniar, a curentului de 50 Hz în funcționarea în regim normal a rețelei, deoarece din cauza neliniarității relativ mici a caracteristicii tensiune-curent a acestuia, la tensiunea de serviciu curentul are valori atît de mari încît este depășită stabilitatea termică a rezistorului.

Eclatoarele de amorsare asigură o funcționare suficient de sigură a descărcătorului, deoarece caracteristica lor tensiune-timp (fig. 1) prezintă o dispersie destul de mică (2—3%) a tensiunii de amorsare, aceasta menținîndu-se

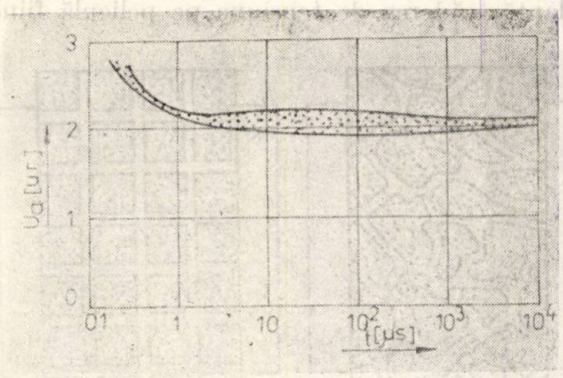


Fig. 1. Caracteristica tensiune — timp a eclatoarelor de amorsare a DRV.

constantă pentru un domeniu foarte larg de variație a timpului. Este adevărat că tensiunea de amorsare prezintă o creștere pentru unde cu front foarte abrupt (cu durate ale frontului sub 0,5—0,8 μs). Însă în practică se folosesc numeroase materiale electroizolante, care, de asemenea, prezintă tensiuni de ținere superioare la unde cu o astfel de durată a frontului. Ca urmare, este posibilă o coordonare destul de precisă între nivelurile de ținere și de protecție pentru timpi variind în limite suficient de largi. Aceste performanțe se obțin însă numai în cazul unei repartiții corecte a tensiunii pe sistemul de eclatoare. Dacă avem în vedere capacitățile între electrozii acestora, precum și capacitățile parazite față de pămînt sau obiectele învecinate legate la pămînt (fig. 2), rezultă, în cazul apli-

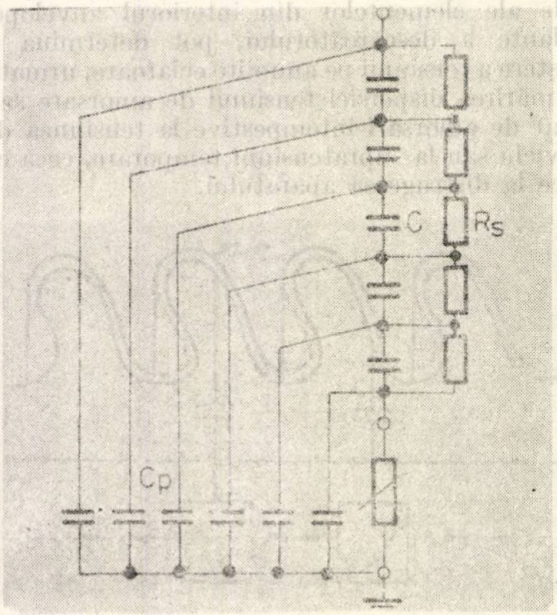


Fig. 2. Schema echivalentă a sistemului de eclatoare de amorsare a DRV : C — capacitățile eclatoarelor ; C_p — capacități parazite față de pămînt ; R_s — rezistoare de șuntare.

cării unei tensiuni variabile în timp (alternativă, de impuls), o repartiție neuniformă a tensiunii de-a lungul șirului de eclatoare. O asemenea distribuție neuniformă este de dorit în cazul aplicării tensiunii de impuls, întrucît asigură amorsarea rapidă, în cascadă, a tuturor eclatoarelor. Această neuniformitate a distribuției nu este însă de dorit la tensiune alterna-

* Prof. dr. ing. Nicolae Gavrilaș, ș.l. dr. ing. Mircea Gușă, ș.l. dr. ing. Adrian Baraboi — Institutul Politehnic Iași.

tivă sau la supratensiuni temporare, deoarece poate duce la diminuarea tensiunii de amorsare pe ansamblul descărcătorului, ori DRV nu trebuie să amorseze la aplicarea unor asemenea tensiuni, pentru motivul menționat mai sus. Pentru a fi asigurată uniformitatea repartiției tensiunii alternative de-a lungul sistemului de eclatoare de amorsare, DRV se echipează cu rezistoare de șuntare cu rezistența neliniară legate în paralel cu eclatoarele (fig. 2). Valoarea rezistențelor se alege astfel încît intensitatea curentului de frecvență industrială ce le străbate să fie mult mai mare decît a curentului capacitiv prin eclatoare, astfel încît distribuția tensiunii de-a lungul acestora să fie determinată, practic, numai de rezistoare. La aplicarea tensiunii de impuls, curentul capacitiv este mult mai mare decît cel activ, astfel că distribuția tensiunii este hotărîtă de rețeaua de capacități.

Sistemul de rezistoare de șuntare complică însă tehnologia descărcătorului și îi scade fiabilitatea. În plus, acest sistem nici nu este suficient de sigur, deoarece liniaritatea repartiției tensiunii pe eclatoare poate fi afectată de poluarea suprafeței exterioare a izolatorului descărcătorului. În prezența peliculei poluante, pe suprafața izolatorului pot apărea descărcări parțiale externe (fig. 3) care, șuntînd capacitățile parțiale ale elementelor din interiorul anvelopei izolante a descărcătorului, pot determina o creștere a tensiunii pe anumite eclatoare, urmată de mărirea dispersiei tensiunii de amorsare sau chiar de amorsări intempestive la tensiunea de serviciu sau la supratensiuni temporare, ceea ce duce la distrugerea aparatului.

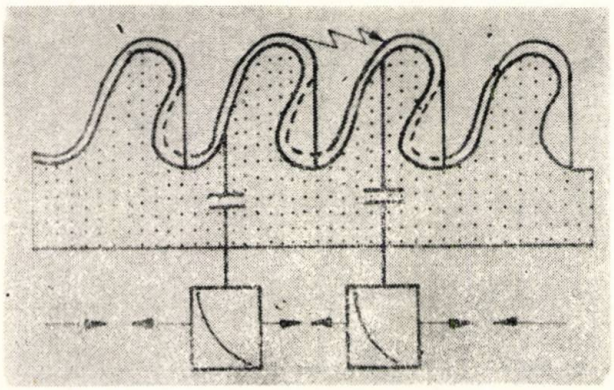


Fig. 3. Influența poluării suprafeței exterioare a izolatorului DRV asupra repartiției tensiunii de-a lungul eclatoarelor de amorsare.

Alte imperfecțiuni ale descărcătoarelor cu rezistență variabilă sînt legate de nivelul de protecție relativ ridicat ce îl pot asigura și de capacitatea de trecere a rezistorului limitată la valori nu prea mari.

În cazul DRV de tip normal rezistența neliniară trebuie să fie suficient de mare pentru a limita curentul de însoțire și a asigura stingerea acestuia la prima trecere prin zero. Rezistenței mari a rezistorului din SiC îi corespunde o tensiune reziduală mare, deci un nivel de protecție ridicat (circa 4 u.r.).

În cazul DRV cu suflaj magnetic, prin alungirea arcurilor în eclatoare, crește considerabil căderea de tensiune în arc, ceea ce permite diminuarea rezistenței rezistorului din SiC, de unde rezultă o reducere a nivelului de protecție pînă la 2,2 u.r. În afară de aceasta se asigură stingerea curentului de însoțire înainte de trecerea normală a curentului prin zero, de unde rezultă o capacitate mai mare de trecere a descărcătorului.

2. Caracteristici constructive și funcționale ale descărcătoarelor cu oxizi metalici

Construcția acestor descărcătoare se reduce la una sau mai multe coloane în paralel, formate din discuri de rezistoare neliniare, de tip varistor, introduse într-o anvelopă izolantă etanșă, din porțelan sau materiale electroizolante sintetice.

Rezistorul neliniar este constituit dintr-o ceramică avînd la bază oxidul de zinc, în proporție de peste 90%, în amestec cu alți oxizi (de bismut, cobalt, mangan, crom, staniu etc.). Varistorul se obține prin sinterizare cu fază lichidă. Aceasta constă în amestecarea pulberilor de oxizi metalici, avînd granulație foarte fină și presarea lor în formă dorită, produsul obținut fiind apoi încălzit la o temperatură superioară punctului de topire a oxidului de bismut (820°C), cînd ZnO, avînd temperatura de topire de 1800°C, rămîne în stare solidă. Faza lichidă se solidifică în timpul răcirii și formează un material ceramic cu o structură policristalină densă.

Structura de bază a masei sinterizate este de formă aproape matriceală (fig. 4) [2, 3], conținînd granule de ZnO, cu dimensiuni de ordinul a 10 μm, avînd o bună conductivitate electrică, separate între ele de o peliculă intergranulară, cu grosimea de 0,05—0,01 μm, formată în principal din Bi_2O_3, și care constituie bariera electrică izolantă, căderea de tensiune pe peliculă fiind

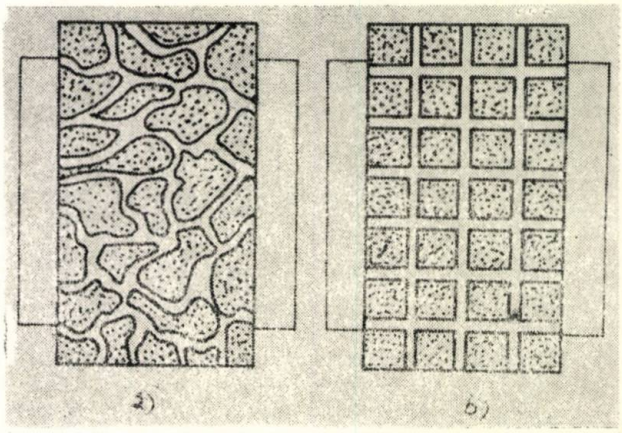


Fig. 4. Structura unui element de rezistor din oxizi metalici: a — microstructura; b — reprezentare idealizată.

de aproximativ 2,5 V la o densitate de curent de 10^{-5} A/mm^2. Acest din urmă component conferă discului sinterizat caracteristica tensiune-curent puternic neliniară prin proprietatea lui de a-şi modifica rezistenţa odată cu variaţia gradientului de tensiune. Ceilalţi oxizi metalici se adaugă într-o proporţie foarte mică şi servesc pentru doparea ZnO, în scopul micşorării rezistivităţii acestuia.

În figura 5 sînt date caracteristicile tensiune-curent ale rezistoarelor din ZnO şi din SiC [5]. Se observă din examinarea lor neliniaritatea mult mai puternică a primului. Caracteristica rezistorului din ZnO depinde de temperatură; această dependenţă dispare însă practic pentru densităţi de curent peste 10^{-4} A/cm^2 (adică în cazul unui disc cu diametrul de 60 mm, pentru curenţi de peste 2,8 mA). La densităţi de curent

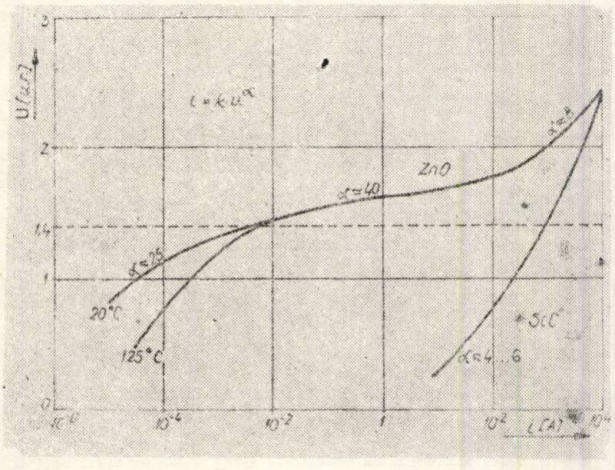


Fig. 5. Caracteristici tensiune—curent ale rezistoarelor neliniare din oxizi metalici (ZnO) şi carbură de siliciu (SiC).

ridicate (peste 10 A/cm^2), caracteristica tensiune-curent se curbează, dependenţa între tensiune şi curent devine aproape liniară; cauza rezidă în faptul că rezistivitatea granulelor de ZnO devine preponderentă, limitînd conductivitatea materialului. Această întoarcere a caracteristicii o întîlnim şi la elementele de SiC, unde este însă mai pronunţată.

Mai trebuie subliniată stabilitatea caracteristicii elementelor din oxizi metalici: supuse la curenţi intenşi de descărcare nu îşi modifică caracteristica de protecţie. Dimpotrivă, rezistoarele neliniare din SiC, utilizate la producerea descărcătoarelor convenţionale, manifestă o creştere evidentă a nivelului de protecţie după ce au suportat curenţi de descărcare de intensitate ridicată.

Discurile de ZnO au o permitivitate destul de mare ($\varepsilon \approx 1000$) şi o capacitate termică de valori ridicate, comparabilă cu cea a oţelului, premise favorabile folosirii în construcţia descărcătoarelor.

Datorită puternicii neliniarităţi a caracteristicii tensiune-curent (fig. 5), discurile din ZnO pot fi folosite la realizarea unui descărcător fără eclatoare de amorsare, curentul prin coloana de elemente de ZnO la tensiunea de serviciu fiind de ordinul miliamperilor, adică neglijabil de mic. Lipsa eclatoarelor conferă descărcătorului simplitate constructivă, un înalt grad de robusteţe, o bună siguranţă în funcţionare.

Coloana rezistorului este constituită din înserierea unui număr de discuri, corespunzător tensiunii nominale a descărcătorului. Pentru creşterea capacităţii de descărcare se pot folosi coloane de discuri în paralel, deşi în acest caz apar probleme în legătură cu distribuţia uniformă a curentului între coloanele de rezistoare. De exemplu, un descărcător de 110 kV poate fi realizat sub forma a două coloane, fiecare cu diametrul de 60 mm, sau dintr-o singură coloană cu diametrul de 85 mm, înălţimea sa fiind de 1—1,3 m. Trebuie menţionat faptul că nu se poate mări oricît diametrul discurilor de ZnO, deoarece se înrăutăţesc condiţiile de răcire.

Modul de funcţionare al noului tip de descărcător poate fi explicat cel mai bine luînd în considerare caracteristica sa tensiune-curent (fig. 6).

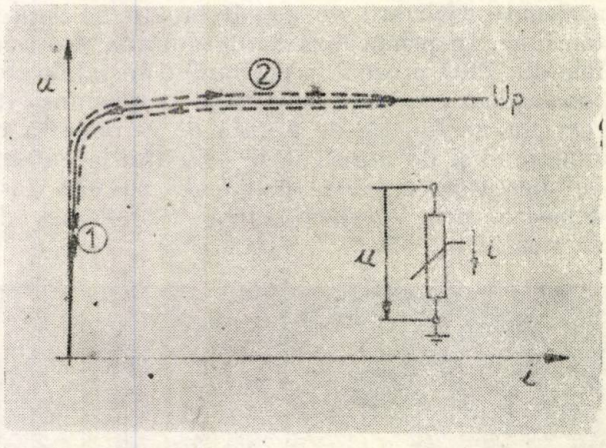


Fig. 6. Caracteristica tensiune - curent a rezistorului neliniar.

La aplicarea tensiunii de serviciu prin descărcător trece un curent extrem de mic. După datele din [1] acesta este un curent capacitiv care atinge valoarea de 0,5 mA în cazul unui descărcător de 110 kV şi 3 mA în cazul unui descărcător de 500 kV. La mărirea tensiunii aplicate, apare în acest curent o componentă activă care creşte rapid şi devine preponderentă atunci cînd gradientul de potenţial depăşeşte 1 kV/cm. La apariţia unei supratensiuni are loc tranziţia rapidă de pe porţiunea (1) de impedanţă înaltă a caracteristicii pe cea de impedanţă joasă (2), supratensiunea fiind limitată la valoarea nivelului de protecţie U_p. Cînd supratensiunea dispare are loc imediat tranziţia înapoi pe porţiunea de impedanţă ridicată. Deci, la aplicarea supratensiunii, odată cu creşterea curentului are loc o trecere continuă a rezistoarelor în stare de conducţie, fără producerea

nici unei amorsări, iar la finele procesului curentul scade continuu, fără a se pune problema, ca la descărcătoarele convenționale, de stingere a unui curent de însoțire. Mai trebuie subliniat că nu mai este vorba în cazul acestor descărcătoare de o tensiune de amorsare; rezistorul neliniar conduce la apariția unei supratensiuni oricît de mici.

În sfîrșit, mai trebuie menționate scăderea dimensiunilor de gabarit (cu 10—20% față de a celor cu SiC [6]) și a greutății descărcătoarelor din ZnO [2].

3. Folosirea descărcătoarelor cu oxizi metalici și rezultatele obținute

Primele rezistoare neliniare bazate pe oxidul de zinc au fost realizate de firma japoneză Matsusita Electric Industrial Company din Osaka în 1968. În perioada de pionierat noua tehnică se reducea la folosirea elementelor din ZnO doar la tensiuni mici în industria electrotehnică.

Ulterior, în anii '70, s-a pus la punct tehnologia de fabricare a rezistoarelor din oxizi metalici destinate realizării de descărcătoare de supratensiune. În prima fază de dezvoltare, rezistoarele din ZnO prezentau o anumită instabilitate, constînd în creșterea curentului la tensiunea de serviciu, în funcție de durata de la punerea în funcțiune și de numărul de solicitări la curenți de descărcare. Aceste deficiențe au fost însă depășite prin perfecționarea tehnologiei de fabricație.

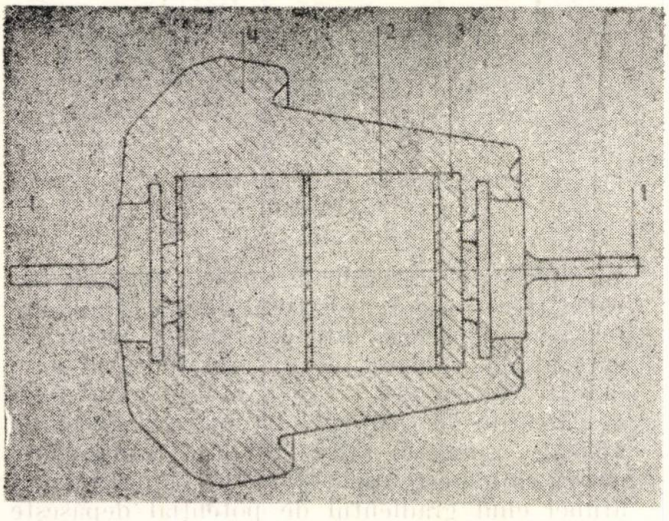


Fig. 7. Secțiune printr-un descărcător tip MVR: *1* — borne; *2* — rezistențe de oxizi metalici; *3* — placă de metal; *4* — corp din rășină sintetică turnată.

În prezent, numeroase firme din străinătate produc descărcătoare de acest tip pentru întreaga gamă de tensiuni folosite în rețelele electrice de transport și distribuție a energiei electrice.

La medie tensiune construcția acestor descărcătoare este foarte simplă. Acest lucru este ilustrat în figura 7, în care este prezentat descărcătoarul de tip MVR produs de firma Brown Boveri [4]. Aceste aparate asigură descărcarea unor supratensiuni de trăsnet, cu curent pînă la 10 kA (undă 8/20 μs) și de comutație, cu curent pînă la 250 A (undă rectangulară de 1000 μs). Folosirea unor asemenea descărcătoare permite o importantă reducere a nivelurilor de protecție și deci a nivelurilor de izolație în rețelele de medie tensiune: cu aproape 25% în rețelele cu neutrul izolat și cu 35% în rețelele cu neutrul efectiv legat la pămînt, dacă se iau în considerare supratensiunile de trăsnet. Aceste concluzii rezultă din diagramele din figura 8, în care se

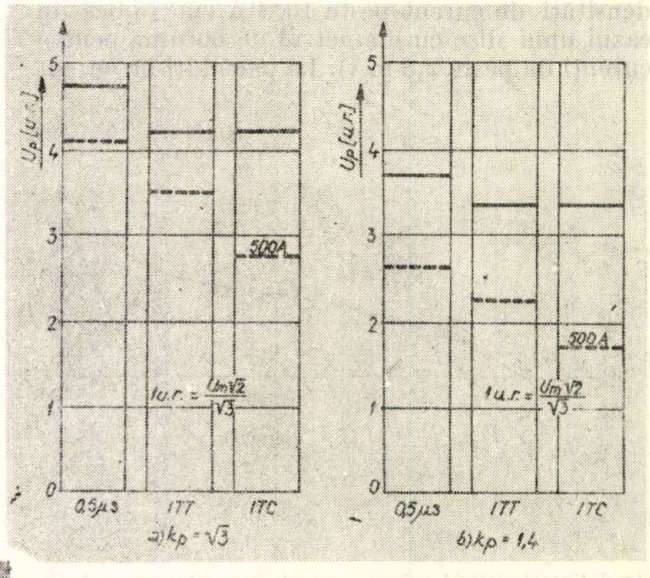


Fig. 8. Nivelurile de protecție ale descărcătoarelor în rețelele de medie tensiune avînd factorul de defect la pămînt: $a - k_p = \sqrt{3}$ (rețele cu neutrul izolat); $b - k_p = 1,4$ (rețele cu neutrul legat efectiv la pămînt); ——— descărcătoare clasice; — — — descărcătoare cu oxizi metalici.

prezintă nivelurile de protecție în rețelele de medie tensiune, atunci cînd se iau în considerare următoarele valori ale curenților de impuls [5]:

— pentru unde cu durata frontului de aproximativ 0,5 μs — 10 kA (undă de curent de orice formă); ca și în cazul DRV clasice, tensiunea reziduală a descărcătoarelor cu oxizi metalici este mai mare în cazul undelor cu front abrupt, în acest din urmă caz fiind, probabil, vorba de o întîrziere în intrarea în conducție a rezistorului;

— pentru unde de impuls de tensiune de trăsnet (ITT) de formă standardizată — 10 kA (undă de curent standard 8/20 μs);

— pentru unde de impuls de tensiune de comutație (ITC) — 500 A (undă de curent cu timp de creștere între 50 și cîteva mii de μs).

În cazul rețelelor cu neutrul izolat, în care defectele monofazate la pămînt sînt de lungă durată, tensiunea de stingere a DRV clasice, respectiv tensiunea de funcționare continuă

(de durată) U_c a descărcătoarelor cu oxizi metalici se ia egală cu U_m (tensiunea de serviciu a rețelei) și rezultă un nivel de protecție de 4—4,4 u.r. (4,7 u.r. la unde cu front abrupt) în cazul protecției prin tehnica clasică, respectiv de 3,5 u.r. (4,1 u.r. la unde cu front abrupt) în cazul protecției folosind noua tehnică (fig. 8 *a*).

În rețelele cu neutrul efectiv legat la pămînt defectele monofazate determină supratensiuni temporare de numai 1,4 $U_m/\sqrt{3} = 0{,}8\ U_m$ și folosind descărcătoare clasice se obține o reducere a nivelului de protecție cu aproximativ 20% față de rețelele cu neutrul neefectiv legat la pămînt. Această reducere crește pînă la circa 35% dacă se apelează la descărcătoarele cu oxizi metalici. În cazul folosirii acestora, deoarece durata defectului monofazat la pămînt nu depășește o secundă, creșterea tensiunii la 1,4 $U_m/\sqrt{3}$ este de scurtă durată și se poate lua pentru tensiunea de funcționare de durată a descărcătoarelor cu oxizi metalici valoarea de $U_m/\sqrt{3}$.

Importante reduceri ale nivelurilor de protecție (sub 3 u.r.) se obțin prin utilizarea noilor tipuri de descărcătoare în limitarea supratensiunilor de comutație.

În rețelele de înaltă și foarte înaltă tensiune se folosesc descărcătoare de construcție mai complexă: cu una sau mai multe coloane de rezistoare în paralel, cu electrozi de uniformizare a repartiției cîmpului de-a lungul aparatului, cu eclatoare în serie sau în paralel.

Nivelurile de protecție ale descărcătoarelor clasice și cu ZnO sînt ilustrate comparativ în figura 9 *a* pentru rețele cu neutrul neefectiv legat la pămînt și 9 *b* pentru rețele cu neutrul efectiv legat la pămînt [5].

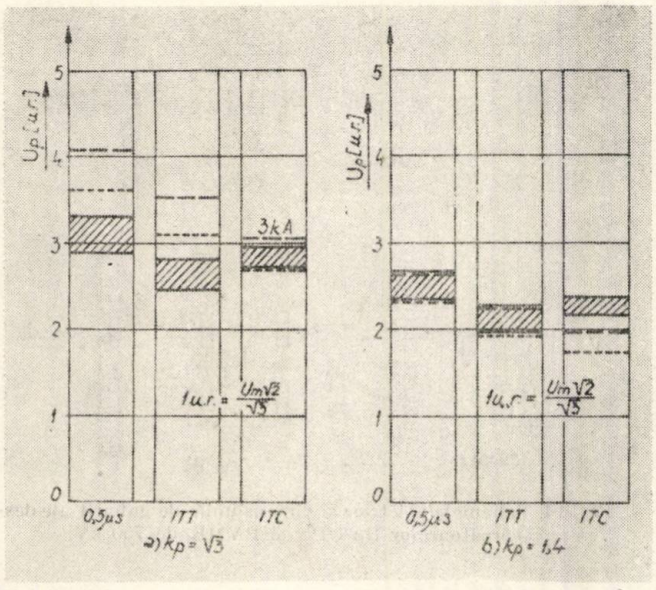


Fig. 9. Nivelurile de protecție ale descărcătoarelor în rețel de înaltă tensiune, avînd factorul de defect la pămînt: *a* — $k_p = \sqrt{3}$; *b* — $k_p = 1{,}4$; —— descărcătoare cu suflaj magnetic și rezistență din SiC; — — descărcătoare cu ZnO fără eclatoare; — — — descărcătoare cu ZnO cu eclatoare.

Se observă că deocamdată, în rețelele cu neutrul neefectiv legat la pămînt nu se poate obține coborîrea nivelului de protecție al descărcătoarelor cu ZnO sub nivelul de protecție al descărcătoarelor convenționale. Acest lucru se datorește faptului că tensiunea de funcționare de durată fiind mai mare, păstrarea valorii de 1—2 mA a curentului absorbit la această tensiune necesită o înălțime mai mare a coloanei de elemente neliniare. Pe de altă parte, însăși caracteristica neliniară a ZnO, deși mai aplatizată decît a SiC, nu permite obținerea unor tensiuni reziduale mai mici, dacă nivelul de protecție este același.

Pe baza caracteristicilor tensiune-curent din figura 5, considerînd aceeași tensiune reziduală la curent de impuls nominal de 10 kA, s-a determinat, prin calcul grafo-analitic, tensiunea pe obiectul protejat (transformator) în schema de principiu din figura 10 în care sînt valabile, cînd prin rezistorul neliniar trece curent, ecuațiile:

$$2u_0 = u_d + \frac{Z}{2} i_d; \quad u_d = f(i_d).$$

În figura 11 este prezentată construcția grafică de determinare a tensiunii reziduale pe descărcător, de unde rezultă unda de tensiune reflectată de descărcător ($u_2 - u_0$). În figura 12 se dă construcția grafică pentru determinarea tensiunii pe obiectul protejat, obținută prin însumarea, în punctul de conectare a acestuia,

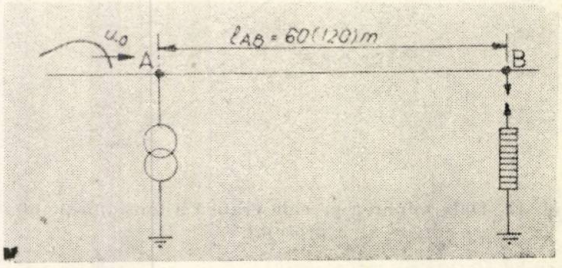


Fig. 10. Schemă de protecție cu descărcător.

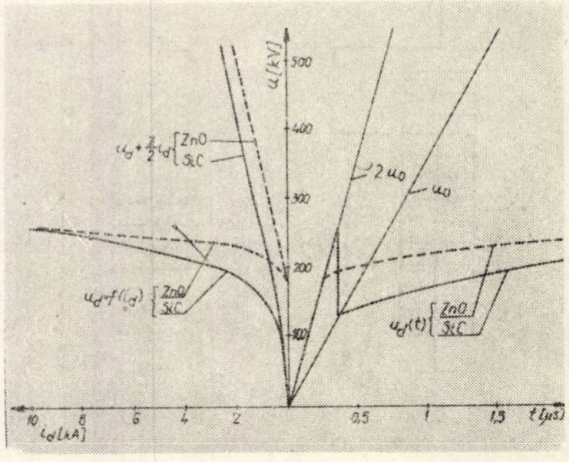


Fig. 11. Determinarea pe cale grafică a tensiunii reziduale pe descărcător.

aundei incidente de tensiune și a undei reflectate de la descărcător (U_{BA}). Din acest exemplu simplu de calcul rezultă că, pentru a obține rezultate mai bune prin folosirea descărcătorului cu ZnO, se impune reducerea tensiunii reziduale în raport cu cea a DRV clasic.

Reducerea tensiunii reziduale a descărcătorului cu ZnO, fără a mări curentul absorbit la funcționarea în regim permanent, se poate obține prin introducerea unor eclatoare în serie sau paralel, conform figurii 13.

În cazul prezentat în figura 13 *a* eclatorul șuntează o porțiune din rezistența neliniară, atunci cînd aceasta este străbătută de un curent de ordinul cîtorva sute de amperi, ceea ce se petrece numai în cazul existenței unei supratensiuni. Nivelul de protecție va corespunde restului coloanei prin care trece curentul de impuls, deci este mai redus decît în cazul lipsei eclatorului.

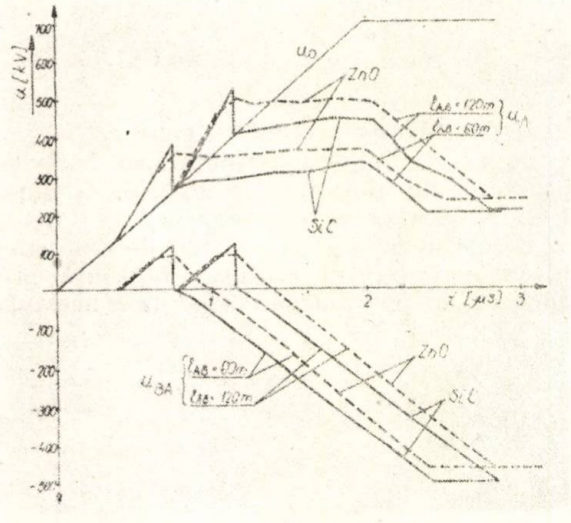


Fig. 12. Determinarea pe cale grafică a tensiunii pe obiectul protejat.

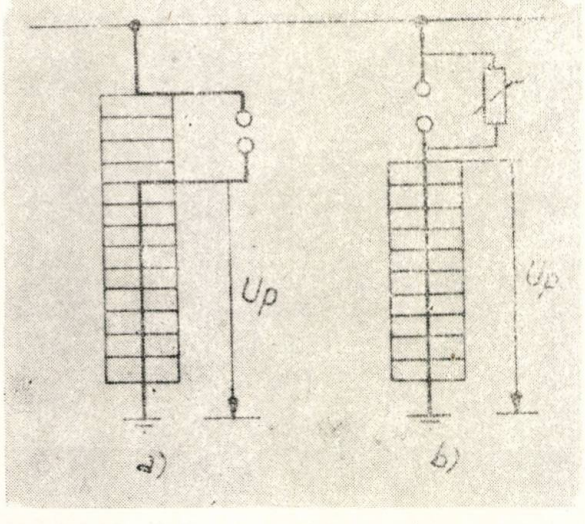


Fig. 13. Descărcătoare cu ZnO și eclatoare: *a* — serie; *b* — paralel.

În cazul soluției constructive cu eclatoare serie (fig. 13 b) se mai prevede și o rezistență neliniară în paralel cu acestea, în scopul repartizării tensiunii între eclator și rezistența de ZnO.

Mărimea rezistenței neliniare a descărcătorului este conformă cu nivelul de protecție dorit. Eclatoarele amorsează și în cazul supratensiunilor de comutație, în care caz, datorită curenților de impuls de mai mică amplitudine, tensiunea reziduală se va obține mai mică decît la descărcătoarele clasice cu SiC, așa cum rezultă din figura 9.

Trebuie menționat că adăugarea eclatoarelor nu este obligatorie, existînd și realizări de descărcătoare cu ZnO pentru tensiuni înalte lipsite de eclatoare [13, 14, 15].

Rezultate deosebit de bune se obțin prin folosirea descărcătoarelor cu oxizi metalici în protecția împotriva supratensiunilor de comutație, reușindu-se limitarea acestora pînă la 1,8 și chiar 1,6 u.r. [8]. Din acest motiv aceste tipuri de descărcătoare capătă o tot mai largă folosire în rețelele de FIT și UIT, în care predominante sînt aceste supratensiuni. Se folosesc în acest scop atît descărcătoare fără eclatoare, cît și cu eclatoare în paralel. Pentru exemplificare, în figura 14 se dau schemele electrice și dimensiunile de gabarit ale descărcătoarelor cu ZnO de 750 kV realizate în U.R.S.S. [9], comparate cu ale descărcătorului clasic de tip RVMK. În tabelul 1 sînt date cîteva caracteristici funcționale ale acestor aparate. Descărcătorul de tip ușor OPNO este calculat pentru o capacitate de trecere mai mică decît OPN și OPNI, conținînd coloane de rezistoare cu o secțiune de 1,5 ori mai mică (masa este ca urmare mult

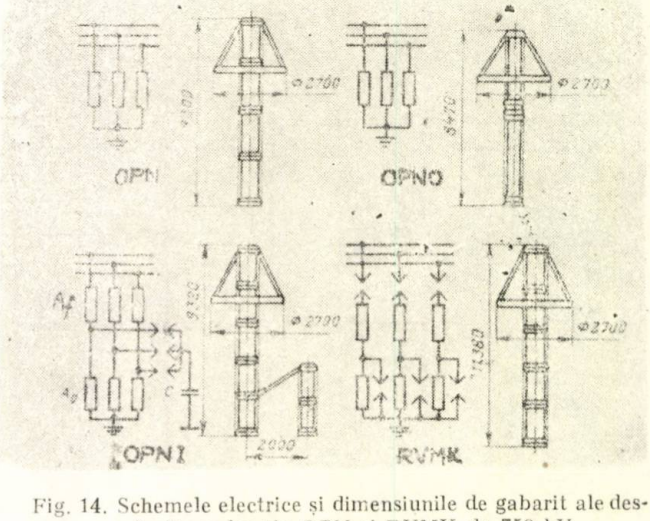


Fig. 14. Schemele electrice și dimensiunile de gabarit ale descărcătoarelor tip OPN și RVMK de 750 kV.

mai mică). O funcționare aparte are descărcătorul tip OPNI. La tensiunea de serviciu, cînd eclatoarele nu sînt amorsate, acesta funcționează analog cu aparatele OPN și OPNO. La apariția supratensiunii de comutație eclatoarele

Tabelul 1

Parametrii	OPN-750	OPNO-750	OPNI-750	RVMK-750
Factorul de limitare a supratensiunilor [u.r.]:				
— de comutație:				
• fază-pămînt	1,8	1,8	1,8	2,1
• fază-fază	3,6	3,6	2,9	4,1
— de trăsnet	2,15	2,2	2,15	2,55
Curentul nominal la supratensiuni [kA]:				
— de comutație	1,8	1,2	1,8	3,0
— de trăsnet	15	15	15	10
Factorul de supratensiune temporară admisibil timp de:				
• 20 min	1,2	1,2	1,2	Nu se normează
• 20 s	1,3	1,3	1,3	Nu se normează
• 3,5 s	1,4	1,4	1,4	Nu se normează
• 1 s	1,75	1,45	1,45	Nu se normează
• 0,15 s	1,55	1,55	—	—
Înălțimea [m]	9,3	8,5	9,3	11,4
Masa [t]	5,9	2,3	7,2	6,2

amorsează și rezistoarele sînt conectate în schema în stea cu patru raze, dintre care cea de-a patra este formată din cele trei rezistoare A_0 legate în paralel. Dacă rezistoarele conectate în serie $A_0 + A_f = A$ limitează supratensiunile fază-pămînt pînă la nivelul k_{fp}, atunci nivelul limitării supratensiunilor între faze rezultă $k_{ff} \leqslant \frac{2A_f}{A_0 + A_f} k_{fp}$, adică de $\frac{A_0 + A_f}{A_f}$ mai mic decît asigură limitatorul OPN.

Examinarea datelor din tabelul 1 pune în evidență avantajele nete ale descărcătoarelor cu ZnO față de cele cu SiC : niveluri de protecție mai coborîte, capacitate de trecere sporită, posibilitatea de a suporta pe durate de timp determinate supratensiunile temporare, mase și gabarite mai reduse.

Rezultate aproape spectaculoase se obțin prin folosirea descărcătoarelor cu ZnO în protecția liniilor lungi împotriva supratensiunilor de comutație, prin instalarea de descărcătoare direct pe linie în cîteva puncte [10]. Această aplicație și rezultatele ce se obțin sînt ilustrate în figura 15. Calculele au arătat că, prin instalarea de astfel de descărcătoare la intervale de 50—100 km, supratensiunile de comutație, maxime pe linie, depășesc tensiunea maximă pe descărcătoare cu cel mult 5%. În acest scop se folosesc rezistoare monocoloană introduse în tuburi de mase plastice armate cu fibre de sticlă acoperite cu un compound din polimeri, așa fel încît să fie evitată conturnarea de-a lungul coloanei din rezistoare. Acestea se pot monta în paralel cu izolatoarele de linie, sau sub izolatoare, fiind legate la pămînt pe tirantul stîlpului, sau chiar înlocuind lanțul de izolatoare de suspensie [10].

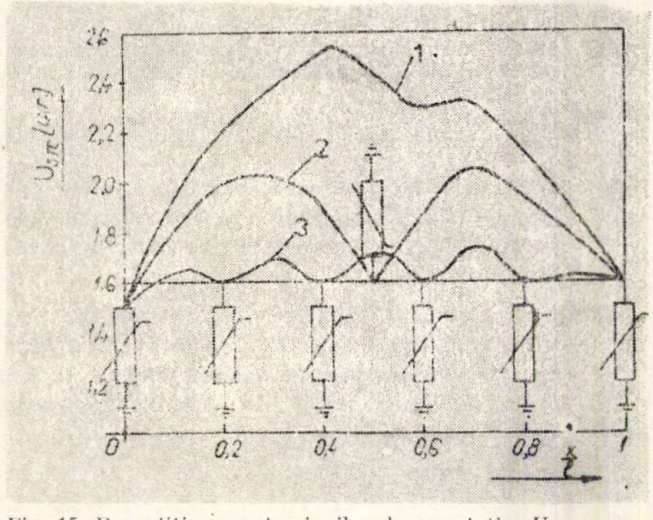


Fig. 15. Repartiția supratensiunilor de comutație U_{STC} pe o linie de 1150 kV cu lungimea de 630 km, protejată cu descărcătoare cu oxid de zinc instalate : *1* — la extremitățile liniei ; *2* — în trei puncte pe linie ; *3* — în șase puncte pe linie.

Rezultate deosebit de bune se obțin și în protecția împotriva supratensiunilor de comutație la deconectarea reactoarelor de compensare transversală. Astfel în [11] se arată că prin înlocuirea descărcătorului RVMK-750 cu OPN-750 se obține o reducere a supratensiunilor pe reactor de la 1,9 la 1,65 u.r., iar a tensiunii de restabilire pe întrerupător de la 2,8 la 2,3 u.r. O limitare și mai importantă a tensiunii de restabilire pe întrerupător (pînă la 1,6—1,7 u.r.) se obține folosind rezistoarele neliniare montate în stea (fig. 16). Acestea limitează și supratensiunile pe linie în cazul deconectării de pe aceasta a reactorului.

Perspective interesante au descărcătoarele cu ZnO în folosirea lor la ultraînaltă tensiune (UIT), în care caz supratensiunile de comutație vor fi suficient de bine limitate, fără a mai reprezenta un pericol, în timp ce periculoase vor deveni supratensiunile temporare [8]. Se apreciază că la UIT este potrivită folosirea descărcătoarelor cu ZnO și eclatoare serie. Prezența acestora din urmă ar permite reducerea de două ori a pierderilor active în rezistoare la tensiunea nominală și de 10—30 ori la supratensiuni tem-

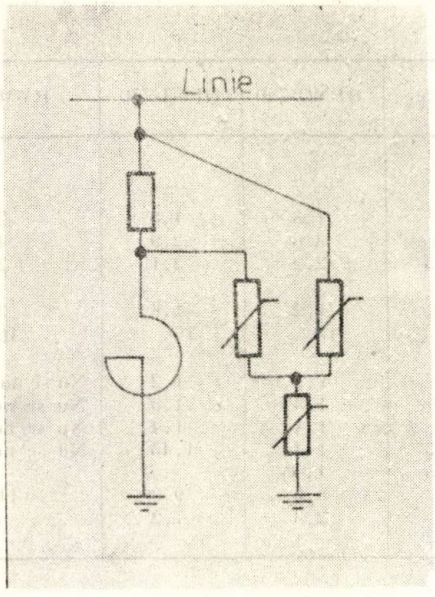


Fig. 16. Protecția reactoarelor de compensare transversală montate pe linie cu descărcătoare cu ZnO montate în stea.

porare cu factor de supratensiune de ordinul 1,4 [8].

În prezent, descărcătoarele cu oxizi metalici se fabrică și se utilizează în numeroase țări din lume. De exemplu, în [8] se menționează că în perioada 1979—1984 au fost montate în rețelele de 110—750 kV din U.R.S.S. 800 faze de astfel de descărcătoare.

Prin limitarea supratensiunilor cu ajutorul acestor descărcătoare moderne este posibilă reducerea nivelurilor de izolație a echipamentelor, avînd importante efecte economice. În [16, 17] se arată că prin folosirea descărcătoarelor cu oxizi metalici în rețelele de 750 kV se poate reduce nivelul de izolație pînă la valoarea minimă recomandată de CEI (1300 kV_{max} — tensiune nominală de ținere la impuls de comutație). Asemenea reduceri ale nivelurilor de izolație se încearcă deja a se practica în diferite țări. Astfel, în [8] se citează folosirea a trei faze de transformator de 500 kV, cu izolație redusă, ale căror gabarite sînt apropiate de cele ale transformatoarelor de 220 kV. În [1] se menționează că stațiile protejate cu descărcătoare cu ZnO își reduc suprafața ocupată cu 15—30%, costul lor scăzînd cu 10—15%.

În concluzie noua tehnică a descărcătoarelor cu rezistoare din oxizi metalici oferă importante avantaje :

— simplitate constructivă, robustețe, fiabilitate sporită ;

— gabarite și mase reduse ;

— capacitate de descărcare sporită ;

— posibilitatea de a suporta pe durată limitată acțiunea supratensiunilor temporare ;

— asigurarea unor niveluri de protecție mai scăzute, de unde rezultă posibilitatea reducerii nivelurilor de izolație a echipamentelor, cu importante efecte economice ;

— unele utilizări inedite, cum ar fi în protecția liniilor lungi împotriva supratensiunilor de comutație.

Bibliografie

[1] Aleksandrov, G. N., Bronfman, A. I., Laslo, V. F., Schelokov, A. I., Schur, S. S., Tihodeev, N. N., Iakovlev, O. I. *Parafoudres destinés à une limitation appreciable des surtensions dans les réseaux 110—500 kV.* Raport CIGRE 33—06, 1978.

[2] Berger, U., Knecht, B. *Parafoudres : technique classique—résistances à oxyde métallique.* În : Revue Brown-Boveri 66, 1979 (11), 734—738.

[3] Knecht, B., Menth, A. *Résistances non linéaires à base d'oxyde de zinc.* În : Revue Brown Boveri 66, 1979 (11), 739—742.

[4] Knecht, B., Mayer, A. *Parafoudres type MVR pour les tensions dès 1 à 7,2 kV.* În : Revue Brown Boveri 67, 1980 (9), 535—538.

[5] Rudolph, R. *ZnO-Ableiter-Eine Alternative zu konventionellen Ableitern.* În : Elektrotechnik und Maschinenbau 100 (1983), 195—200.

[6] Gyimóthy, K., Csefalvay, M. *Fémoxid nemlineáris ellenállások a túlfeszültség — védelemben.* În : Elektrotechnika 75, 1982 (12), Budapest.

[7] *Dyna Var VR extends metal-oxide technology to viser-pole applications.* În : Hi-Tension News. Vol. 50, No 11, 1981, Mansfield, Ohio.

[8] Bogatenkov, I. M., Halikov, F. H., Cernova, G. V. *Glubokoe ogranicenie perenapriajenii v elektroperedaciajh vîsokovo i şverhvîsokovo classov napriajenia (Hronika).* În : Elektricestvo, 1984, No 1, p. 73.

[9] Evtusenko, V. A., Gutman, In. M., Sur, S. S., Rozet, V. E., Sergheev, A. S. *Primenenie nelineinih ogranicitelei perenapriajenia v raspredustroistvah 750 kV.* În : Elektriceskie stanții, 1983, No 11, p. 61.

[10] Alexandrov, G. N., Bogatenkov, I. M., Guseinov, G. A., Evdokumin, G. A., Timerskaia, N. V., Aleksandrov, V. V., Trifonov, V. Z. *Ogranicenie komutaționih i grozovîh perenapriajenii odnokolonkovîmi nelineinîmi ograniciteliami perenapriajenii.* În : Elektrotehnika (U.R.S.S.), 1986, No 9, p. 2.

[11] Beliakov, N. N., Kazacikova, E. I., Raşkes, V. S., Hocțian, K. V., Şur, S. S. *Effektivnosti primenenia ogranicitelia perenapriajenii na şuntiruiuşcih reaktorah 750 kV.* În : Elektriceskie stanții, 1986, No 2, p. 54.

[12] Bogatenkov, I. M., Karabanov, A. V., Lehmuc, A. N., Mihailova, L. L. *Ispîtania nelineinih ogranicitelei perenapriajenii v rabocem rejime po metodike MEK.* În : Iz. vuz. — Energhetika, U.R.S.S., 1986, No 11, p. 35.

[13] * * * *ASEA, Catalogue L.B. 23 – 1E*, Edition 2, 1982–12.
[14] * * * *ASEA, Catalogue L.B. 24 – 1E*, Edition 1, 1982–05.
[15] * * * *ASEA, Catalogue L.B. 22 – 1E*, Edition 2, 1982–12.
[16] Vatră, F., Cristovici, A. *New aspects of th use of thre arresters in the HV and EHV networks.* În: Bul. ISPE, 1985, nr. 34, p. 43.
[17] Vatră, F. *Aspecte privind funcționarea descărcătoarelor moderne pe bază de oxizi metalici în prezența supratensiunilor de comutație și temporare. Posibilități de reducere a nivelelor de izolație prin utilizarea acestor descărcătoare.* Simpozionul Național al Rețelelor Electrice, vol. I. Pitești, 1986, p. 197.

(Primit la 9 octombrie 1987, acceptat la 27 noiembrie 1987)

Asupra determinării puterii și energiei active disipată în rețele electrice neramificate care alimentează receptoare neliniare

Conf. dr. ing. Ilie Popescu, prof. dr. ing. Dumitru Bărbulescu, dr. ing. Nicolae Sufleţel, ş. l. ing. Iustina Zaharia*

Descriptori: regimuri deformante, receptoare neliniare

Introducere

Este cunoscută conservarea și circulația puterilor în regim deformant într-o rețea liniară activă la bornele căreia este conectat un receptor deformant [1].

Se știe că un receptor neliniar (deformant) primește de la sistem putere activă și reactivă numai pe fundamentală și furnizează în sistem putere activă și reactivă pe armonicile superioare [1, 2].

În această lucrare se urmărește determinarea unor expresii de calcul al puterii și energiei active transmise pe armonici într-o rețea neramificată care alimentează receptoare neliniare.

1. Determinarea puterii active armonice

Se consideră în figura 1 *a* schema electrică a unei rețele neramificate conectată la un receptor deformant, spre exemplu a unei stații de racord adînc care alimentează un receptor neliniar (EN).

Se admite că tensiunea furnizată de sistemul energetic este practic sinusoidală. Datorită prezenței elementului neliniar EN circuitul funcționează în regim permanent nesinusoidal (deformant) și ca urmare, atît curentul în rețea, cît și tensiunile în diverse puncte ale acesteia sînt de formă nesinusoidală.

Bilanțul puterilor active în circuitul considerat se poate stabili reținînd numai rezistențele corespunzătoare ale elementelor din circuit, astfel încît, în acest caz, circuitul se prezintă ca în figura 1 *b*. Elementul neliniar EN se comportă ca un convertor static de frecvență, absorbind putere activă pe frecvența sistemului

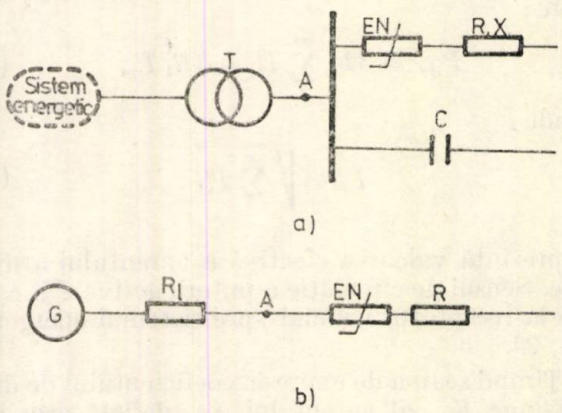


Fig. 1. Schema electrică a unei rețele neramificate care alimentează un receptor deformant: R_1 — rezistența echivalentă a rețelei de alimentare, inclusiv rezistența echivalentă a transformatorului T; EN — element neliniar; R — rezistența de sarcină.

energetic, din care o mică parte se disipă pe EN, iar cealaltă parte este convertită în putere activă pe armonici, care se transmite, atît receptorului, cît și rețelei de alimentare.

În cele ce urmează se urmărește determinarea puterii și energiei active în punctul A de măsură.

În această lucrare prin putere activă armonică P_{Aa} se înțelege [1] puterea activă transmisă pe armonicile superioare în rețea:

$$P_{Aa} = \sqrt{3} \sum_{2}^{\infty} U_{Ak} I_{Ak} \cos \varphi_{Ak}, \qquad (1)$$

[1] În [1] se definește reziduul deformant al puterii active prin expresia:

$$P_d = \sum_{k \neq 1}^{\infty} U_k I_k \cos \varphi_k.$$

* Conf. dr. ing. Ilie Popescu, prof. dr. ing. Dumitru Bărbulescu, ş. l. ing. Iustina Zaharia Institutul Politehnic Iași, dr. ing. Nicolae Sufleţel — IRE Iași.

unde :

U_{Ak}, I_{Ak} sînt valori efective ale armonicelor tensiunii u_A și respectiv curentului i_A ;

φ_{Ak} — unghiul de defazaj dintre armonicele de rang k ale tensiunii u_A și curentului i_A.

Energia activă armonică W_{Aa}, corespunzătoare puterii P_{Aa}, disipată într-un timp t în rețeaua de alimentare pe armonici superioare, se definește prin relația (2) :

$$W_{Aa} = \int_0^t P_{Aa}\, dt. \tag{2}$$

În rețelele electrice, de regulă, curentul nesinusoidal i_A nu conține componentă continuă ($I_{A0} = 0$), datorită faptului că receptoarele sînt conectate la rețea prin intermediul transformatorului de putere.

Expresia puterii active P_{Aa} transmisă în rețeaua de alimentare prin punctul A de măsură este :

$$P_{Aa} = 3R_l \sum_2^\infty I_k^2 = 3R_l I_{Aa}^2 \tag{3}$$

unde :

$$I_{Aa} = \sqrt{\sum_2^\infty I_k^2}, \tag{4}$$

reprezintă valoarea efectivă a curentului armonic. Sensul de circulație a puterii active P_{Aa} este de la receptorul neliniar spre sistemul energetic [1, 2].

Ținînd seama de expresia coeficientului de distorsiune K_{IA} al curentului i_A, definit prin relația :

$$K_{IA} = \sqrt{\frac{\sum_2^\infty I_k^2}{\sum_1^\infty I_k^2}} = \frac{I_{Aa}}{I_A}, \tag{5}$$

se obține expresia puterii active sub forma :

$$P_{Aa} = 3R_l K_{IA}^2 I_A^2, \tag{6}$$

unde :

I_A este valoarea efectivă a curentului i_A.

Puterea activă armonică relativă, definită prin raportul dintre puterea P_{Aa} și puterea activă totală P_A în punctul A, se determină, în procente, cu relația evidentă :

$$\frac{P_{Aa}}{P_A}(\%) = 100\,\frac{3R_l K_{IA}^2 I_A^2}{P_A}(\%). \tag{7}$$

În cazul rețelelor electrice puterea activă relativă rezultă de ordinul procentelor. Datorită valorii ei reduse determinarea puterii active P_{Aa} prin măsurători directe ar rezulta cu totul imprecisă, deoarece ordinul ei de mărime este comparabil cu eroarea aparatului de măsură rezultată din clasa lui de precizie.

Ținînd seama de sensul puterii active P_{Aa} puterea activă totală P_A se exprimă prin relația :

$$P_A = P_{A1} - P_{Aa}, \tag{8}$$

unde : $P_{A1} = \sqrt{3} U_{A1} I_{A1} \cos \varphi_{A1}$ reprezintă puterea activă totală transmisă pe fundamentală de sistemul energetic în punctul A, iar P_{Aa} puterea activă (1) transmisă pe armonici în rețea. Puterea activă totală P_A poate fi măsurată direct cu un wattmetru obișnuit montat în punctul A, înainte de elementul neliniar, în timp ce puterea activă armonică P_{Aa} nu poate fi măsurată direct. Se propune determinarea indirectă a puterii P_{Aa} utilizînd relația (6), pe baza măsurării directe a curentului I_A și a coeficientului de distorsiune al curentului K_{IA}, rezistența liniei R_l fiind fie cunoscută, fie determinată în prealabil.

Puterea P_{Aa} se poate exprima și funcție de puterea activă totală P_A. În acest scop, pornind de la relația (8) și admițînd :

$$U_A = U_{A1};\ \cos \varphi_A = \cos \varphi_{A1};\ P_{Aa} \ll P_A \tag{9}$$

se obține :

$$P_A \cong \sqrt{3}\, U_A\, I_{A1} \cos \varphi_A. \tag{10}$$

Introducînd în (10) expresia curentului I_{A1} :

$$I_{A1} = I_A \sqrt{1 - K_{IA}^2}, \tag{11}$$

P_A rezultă de forma :

$$P_A = \sqrt{3} U_A I_A \sqrt{1 - K_{IA}^2} \cos \varphi_A, \tag{12}$$

de unde se deduce :

$$I_A^2 = \frac{P_A^2}{3(1 - K_{IA}^2)\, U_A^2 \cos^2 \varphi_A}. \tag{13}$$

Introducînd relația (13) în relația (6) se obține :

$$P_{Aa} = \frac{R_l K_{IA}^2}{(1 - K_{IA}^2)\, U_A^2 \cos^2 \varphi_A} \cdot P_A^2 \tag{14}$$

sau notînd:

$$\lambda = \frac{R_l K_{IA}^2}{(1 - K_{IA}^2) U_A^2 \cos^2 \varphi_A} [\mathrm{w}^{-1}] \quad (15)$$

rezultă expresia puterii active P_{Aa} de forma:

$$P_{Aa} = \lambda P_A^2. \quad (16)$$

Relația (16) pune în evidență faptul că puterea activă P_{Aa} depinde de pătratul puterii active totale P_A și deci se modifică substanțial cu încărcarea receptorului.

Puterea activă armonică relativă, exprimată în procente, rezultă de forma:

$$\frac{P_{Aa}}{P_A}(\%) = 100 \frac{R_l K_{IA}^2}{(1 - K_{IA}^2) U_A^2 \cos^2 \varphi_A} \cdot P_A =$$

$$= 100 \lambda P_A. \quad (17)$$

2. Determinarea energiei active armonice

Energia activă W_{Aa} în punctul A de măsură se exprimă prin relația (2). Pentru determinarea relației de calcul al energiei W_{Aa} trebuie ținut seama de regimul de funcționare a receptorului.

2.1. Cazul în care receptorul neliniar funcționează la sarcină variabilă

Regimul de funcționare se stabilește pe baza observării conservării în timp a mărimilor I_A și K_{IA}. Se iau în considerație următoarele regimuri de funcționare:

— cazul general în care atît curentul I_A, cît și coeficientul de distorsiune K_{IA} sînt variabile;

— cazul frecvent în care încărcarea receptorului se modifică (I_A — variabil), dar factorul de distorsiune K_{IA} rămîne practic constant (K_{IA} = ct);

— cazul de funcționare la sarcină constantă.

a) Cazul în care I_A și K_{IA} sînt variabile

Introducînd relația (6) în relația (2) se obține:

$$W_{Aa} = 3R_l \int_0^t K_{IA}^2 I_A^2 \, dt. \quad (18)$$

Determinarea energiei active W_{Aa} cu relația (18) este dificilă. O determinare cantitativă a energiei W_{Aa} este posibilă dacă se utilizează relația aproximativă:

$$W_{Aa} = 3R_l \sum_1^{24} K_{IA_n}^2 I_{A_n}^2 t_n, \quad (19)$$

în care I_{A_n} și K_{IA_n} reprezintă valori medii orare (sau pe durate de timp t_n determinate). Valorile medii orare ale curentului I_{A_n} pot fi deduse din curbele de sarcină ridicate în punctul A, iar valorile coeficientului K_{IA_n}, corespunzătoare diverselor valori ale curentului I_{A_n}, pot fi stabilite prim măsurători.

Un calcul aproximativ al energiei W_{Aa} transmise în rețea într-un interval de timp t se poate efectua pe baza valorii medii I_{Amed} a curentului I_A în timpul t și a valorii medii ponderate a coeficientului de distorsiune K_{IAmed}, utilizînd relația:

$$W_{Aa} = 3R_l K_{IAmed}^2 I_{Amed}^2 \cdot t, \quad (20))$$

în care K_{IAmed} se calculează cu relația:

$$K_{IAmed} = \frac{\sum_1^N K_{IA_n} I_{A_n}}{\sum_1^N I_{A_n}}, \quad (21)$$

iar curentul I_{Amed} cu relația:

$$I_{Amed} = \frac{W_A}{\sqrt{3} U_A \cos \varphi_{Amed} \cdot t}, \quad (22)$$

funcție de energia W_A înregistrată de un contor în timpul t, sau cu relația:

$$I_{Amed} = \frac{P_{Amed}}{\sqrt{3} U_A \cos \varphi_{Amed}}, \quad (23)$$

funcție de puterea activă totală medie P_{Amed} rezultată din curbele de sarcină.

b) Cazul în care I_A este variabil și K_{IA} = ct.

În acest caz λ = ct. și introducînd (16) în (2) se obține următoarea expresie a energiei W_{Aa}:

$$W_{Aa} = \lambda \int_0^t P_A^2 \, dt, \quad (24)$$

unde λ se determină cu relația (15).

Calculul energiei W_{Aa} se poate efectua cu o bună aproximație, pe baza curbelor de sarcină utilizînd relația:

$$W_{Aa} = \lambda \sum_1^{24} P_{A_n}^2 t_n, \quad (25)$$

unde s-a luat în considerare un interval de timp t = 24 ore.

2.2. Cazul în care receptorul funcționează la sarcină constantă

Este cazul consumatorilor cu încărcare aproximativ constantă pe perioade mai mari de timp t. Energia activă W_{Aa} se determină cu relația:

$$W_{Aa} = 3R_l K_{IA}^2 I_A^2 t, \qquad (26)$$

unde K_{IA} = ct., I_A=ct. pe intervalul de timp t.

3. Exemplu de calcul

Se determină energia activă W_{Aa} transmisă în rețea cînd aceasta alimentează un receptor neliniar funcționînd la sarcina (I_A) variabilă, în timp ce coeficientul de distorsiune se menține relativ constant (K_{IA} = ct.).

Se consideră cazul concret în care se cunosc sau se determină prin măsurători simple:

$$U_A = 6 \text{ kV}; \quad \cos\varphi_A = 0{,}95; \quad K_{IA} = 0{,}3;$$

$$R_l = 1\ \Omega; \quad t = 24 \text{ ore}, \qquad (27)$$

curba de sarcină zilnică $P(t)$ (reprezentată în figura 2).

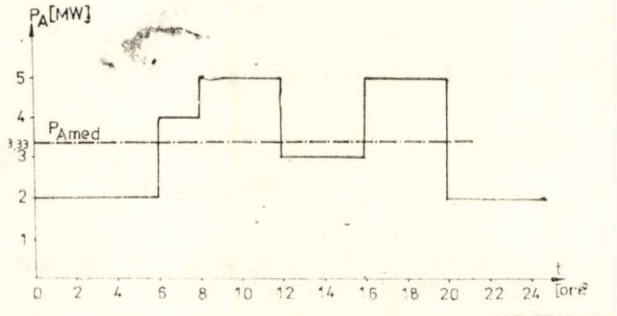


Fig. 2. Curba de sarcină zilnică $P(t)$.

Se determină parametrul λ:

$$\lambda = \frac{K_{IA}^2}{1 - K_{IA}^2} \frac{R_l}{U_A^2 \cos^2\varphi_A} = 3{,}04 \cdot 10^{-9}\ [\text{W}^{-1}] \qquad (28)$$

Din curba de sarcină (fig. 2) se determină energia activă totală W_A pe intervalul de 24 ore.

$$W_A = \sum_1^{24} P_{A_n} t_n = 80 \text{ MWh/24 ore}. \qquad (29)$$

Se determină energia W_{Aa} transmisă în rețea în 24 ore:

$$W_{Aa} = \lambda \sum_1^{24} P_{A_n}^2 t_n = 3{,}04 \cdot 10^{-9} \cdot 308 \cdot 10^{12} =$$

$$= 936 \text{ kWh/24 ore}, \qquad (30)$$

sau, în procente din energia totală W_A:

$$\frac{W_{Aa}}{W_A}(\%) = \frac{936}{80 \cdot 10^3} 100 = 1{,}17\%. \qquad (31)$$

Sistemul energetic furnizează receptorului în punctul A energia totală pe fundamentala W_{A1}:

$$W_{A1} = W_A + W_{Aa} = 80 + 0{,}936 = 80{,}94 \text{ MWh}. \qquad (32)$$

Concluzii

În lucrare se determină expresii care permit calculul puterii și energiei active armonice transmise într-o rețea electrică ce alimentează numai receptoare deformante.

S-a urmărit ca în toate relațiile propuse pentru determinarea puterii și energiei active armonice să intervină mărimi care pot fi măsurate în mod curent și precis cu aparate de măsură uzuale (ampermetru, contor, distorsiometru).

Se menționează că literatura de specialitate nu oferă relații și procedee care să permită determinarea cantitativă a energiei active armonice transmise în rețele electrice de alimentare a unor receptoare deformante.

Bibliografie

[1] Țugulea, A. *Considerații privind efectele energetice ale regimului deformant.* În: Energetica, 1986, vol. 34, nr. 1, p. 27–31.

[2] Tschappu, F. *Champ et limites d'application des installation de régulation de puissance a thyristors dans l'optique de l'nfluence qu'elles exercent sur la mesure de l'energie.* În: Revue Landis & Gyr, 1979, t. 26, nr. 2, p. 16–23.

[3] Budeanu, C., Antoniu, I. S. *L'etude des phénomenes déformants dans une instalation industrielle de distribution.* Rapport CIGRE, Paris, 1948.

[4] Antoniu, I. S., Gafencu, M. *Les puissances dans un système triphasé fonctionnant en régime déformant.* În: Rév. Roum. Sci. Techn. — El. et Energ., 22 (1976) nr. 4, p. 519–530.

[5] Popescu, M., Popescu, Fl. *Calitatea energiei electrice livrate. Indicii de calitate a tensiunii electrice în prezența regimului deformant.* În: Energetica 31 (1983), nr. 4, p. 182–189.

[6] Milea, A. *Asupra măsurării energiei active în regim deformant.* În: Metrologia aplicată, 30/serie nouă — 9/(1983), nr. 3 p. 102–107.

[7] Mijnarends, H. *Measurements of harmonic distorsion caused by convertors.* European Conference on Power Electronics, Brussels (1985).

(Primit la 30 iunie 1987, acceptat la 27 noiembrie 1987)

Consumurile specifice de putere activă și de energie la liniile de 400 kV datorate descărcării corona

Prof. dr. ing. Gleb Drăgan, ș. l. dr. ing. Marilena Ungureanu, ing. Gheorghe Măgureanu *

Descriptori : linii de 400 kV, consumuri specifice, efect corona

Introducere

Pierderile de putere și energie prin descărcarea corona pe liniile de 400 kV din țara noastră au, în comparație cu pierderile Joule, o pondere relativ mare. Funcție de puterea transportată pe o linie de 400 kV cu două conductoare pe fază, raportată la pierderile Joule, pierderile de putere prin descărcarea corona reprezintă valori comparativ ridicate

Astfel, în cazul liniilor de 400 kV cu conductoare de 2 × 450 mm² OL—Al pe fază, la puteri transportate de 200, 400 și 600 MW, pierderile Joule reprezintă 21, 52 și 70% din pierderile totale, iar în cazul liniilor cu conductoare de 3 × 450 mm² OL—Al pe fază pierderile Joule, corespunzătoare aceleiași puteri, sînt de 36, 71 și 83% din pierderile totale. Cum liniile de 400 kV din țara noastră funcționează cu sarcini relativ reduse rezultă că pierderile de putere activă prin descărcarea corona pot fi egale sau chiar mai mari decît cele datorită efectului Joule.

Pentru determinarea pierderilor prin descărcarea corona de tensiune alternativă s-au propus relații analitice de calcul, menționîndu-se în acest sens lucrările [1—3]. Aceste relații de calcul, care țin seama de o serie de particularități ale procesului de descărcare corona, precum și de rezultatele experimentale nu pot determina, cu suficientă exactitate, valoarea acestor pierderi, deoarece nu pot ține seama de toți parametrii caracteristici care privesc conductoarele și condițiile atmosferice specifice din țara noastră. Din aceste considerente, datele de calcul privind pierderile prin descărcarea corona pe liniile de înaltă tensiune se pot obține practic numai pe baza încercărilor experimentale.

Una din problemele de bază privind determinarea pierderilor prin descărcarea corona, astfel încît aceste pierderi să fie cît mai apropiate de pierderile reale, constă în efectuarea de cercetări sistematice și de lungă durată pe un model de linie care să reproducă în condiții cît mai bune liniile reale. Deoarece condițiile atmosferice diferă în bună parte după anotimp, precum și datorită faptului că pierderile corona au un caracter aleatoriu, pentru un sistem de conductoare sînt necesare măsurători numeroase, care să cuprindă mai multe anotimpuri.

Pierderile corona neputîndu-se măsura pe liniile reale este nevoie de un model de linie. Laboratorul de Tehnica Tensiunilor Înalte din Institutul Politehnic București dispune de un model de linie de 230 m, care poate reprezenta la scara naturală liniile de 400 kV și 220 kV cu simplu și dublu circuit, precum și linia de 750 kV cu simplu circuit din țara noastră.

Pentru determinarea cît mai corectă a pierderilor de putere prin descărcarea corona este necesar să se ia în considerare următoarele :

— asigurarea unei metode de măsurare a pierderilor cît mai corectă și mai eficientă ;

— considerarea, la intervale determinate, a condițiilor meteorologice ;

— echivalarea modelului de linie cu o linie reală.

În cadrul unor contracte de colaborare tehnico-științifică cu CIRE în laboratorul de T.T.I. din I.P.B. s-au efectuat, în perioada 1979—1983, măsurarea (și interpretarea rezultatelor obținute) a pierderilor prin descărcarea corona pe linii de 400 kV, iar în perioada 1984—1987 aceleași cercetări pentru linia de 750 kV.

Lucrarea de față se referă la pierderile prin descărcarea corona pe liniile de 400 kV. În cadrul lucrării se prezintă succint, metodologia de măsurare a pierderilor, echivalarea modelului de linie cu liniile de 400 kV reale din țara noastră, analiza rezultatelor obținute și valoarea pierderilor de putere prin descărcarea corona pentru 400 kV cu două și trei conductoare jumelate pe fază.

1. Prezentarea instalației și a schemei de măsură. Metodologia de măsurare

1.1. Caracteristicile liniei experimentale

Determinarea pierderilor de putere și energie prin descărcarea corona se face pe linia experimentală trifazată a laboratorului de T.T.I. din I.P.B.

Tronsonul de linie are o lungime efectivă a conductoarelor, ținînd seama de lungimea lanțurilor de izolatoare, de 219,5 m. Linia a fost echipată cu două conductoare jumelate de 2 × 450 mm² OL—Al, respectiv cu trei conductoare jumelate de 3 × 450 mm² Al—Al și este alimentată prin intermediul unui transformator de 600 kV valoare

* Prof. dr. ing. Gleb Drăgan, ș. l. dr. ing Marilena Ungureanu, ing. Gheorghe Măgureanu — Facultatea de Electrotehnică—Energetică, Institutul Politehnic București.

efectivă. Alimentarea transformatorului se face cu o tensiune variabilă de 0—6 kV, obținută de la un transformator de reglaj și un transformator auxiliar.

1.2. Metoda punții în condițiile platformei I.P.B.

Pierderile prin descărcarea corona pe un conductor aflat la un potențial ridicat față de pămînt se traduc prin existența unei componente cu frecvența 50 Hz a curentului de mers în gol, în fază cu tensiunea de alimentare. Deoarece ansamblul conductor-pămînt formează un condensator, pierderile prin descărcarea corona pot fi exprimate prin tangenta unghiului de pierderi al acestui condensator și pot fi măsurate cu ajutorul unei punți Schering. Pe platforma I.P.B. se folosește o punte automată derivată dintr-o punte tip Schering, avînd schema de principiu din figura 1.

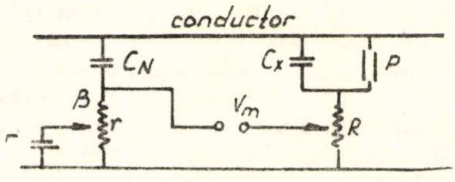


Fig. 1. Schema de principiu a punții automate de tip Schering.

Echilibrarea punții se obține prin sesizarea tensiunii din diagonala de măsură și anularea componentei în fază și a componentei în cuadratură.

Într-o punte Schering clasică, anularea componentei în cuadratură se efectuează prin varierea unei rezistențe, a cărei valoare la echilibru dă capacitatea de măsurat. Anularea componentei în fază se realizează prin varierea unei capacități a cărei valoare la echilibru furnizează tg δ.

În cazul punții automate fiecare componentă comandă, prin intermediul unui motor, cursorul unui potențiometru care se deplasează în sensul anulării componentei respective. La echilibru, valoarea capacității și a tg δ sînt date de pozițiile celor două cursoare sub forma unei poziții unghiulare. Cursorul potențiometrului P (unghi de pierderi) și cel al potențiometrului Q (capacitate) sînt antrenate de micromotoare bifazate, alimentate prin două amplificatoare din care unul furnizează tensiunea de referință, iar celălalt tensiunea de dezechilibru (fig. 2). Cuplarea punții automate modificate tip Schering la schema de măsurare se face prin intermediul unor circuite de adaptare și reglaj. Se utilizează, de asemenea, un condensator etalon aflat pe platforma exterioară a laboratorului și care are următorii parametrii : $C_n = 1500$ pF, $U_n = 400-750$ kV.

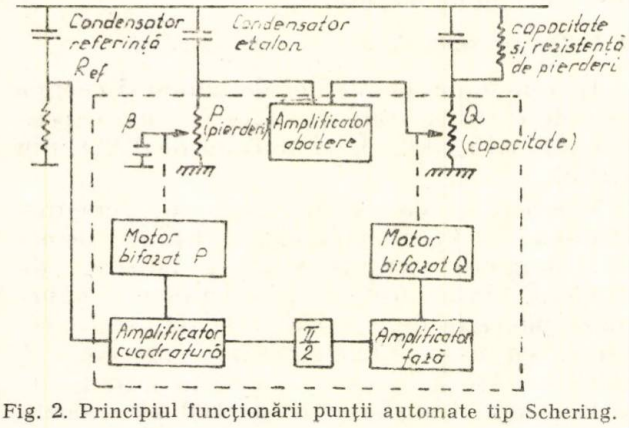


Fig. 2. Principiul funcționării punții automate tip Schering.

Reglajele inițiale au drept scop realizarea condițiilor de funcționare și măsurare corectă a punții. Ele comportă ajustarea fazei și a tensiunii alimentării fazelor de referință a micromotoarelor de reglaj.

1.3. Punctul de măsurători meteorologice

În vederea estimării cît mai exacte a corelației dintre pierderi și condițiile meteorologice (precipitații, ceață, temperatură, presiune) s-a realizat în Institutul Politehnic București un punct de măsurători meteorologice continue, dotat cu următoarele aparate și dispozitive de măsură : termometru ordinar, termometru de minimă, termometru de maximă, termograf, barograf, hidrograf, pluviometru, chiciurometru, giruetă. Punctul de măsurări meteorologice este aflat în imediata apropiere a liniei experimentale, în acest fel garantîndu-se măsurători exacte ale condițiilor meteorologice în care se află linia.

1.4. Desfășurarea determinărilor experimentale

Pierderile de putere și energie activă prin descărcarea corona depind în mod direct de condițiile atmosferice, de starea suprafeței conductoarelor și de intensitatea cîmpului electric superficial.

Primele două aspecte necesită determinări pe durate de timp îndelungate la fiecare tip de conductor în așa fel încît să poată fi cuprinse toate categoriile de condiții meteorologice în variații sezoniere (iarnă-primăvară-vară-toamnă), precum și pe parcursul unei zile. În acest sens s-a considerat că pentru diversele modalități de echipare a fazelor liniilor de 400 kV cu două, cu trei sau cu patru conductoare este necesar ca determinările să se efectueze pe durata unui an calendaristic.

Conform literaturii de specialitate [1, 3, 4], pentru obținerea unor rezultate semnificative, corespunzătoare unui nivel stabil de dezvoltare a descărcării corona, este necesar ca punerea sub tensiune a conductorului la valoarea nominală a tensiunii să aibă loc pe o durată de cel puțin 8 ore înainte de începerea măsurătorilor. În acest scop, organizarea încercărilor experimentale s-a făcut astfel încît perioadele de punere sub tensiune a conductorului, o durată de 8 ore, fără efectuarea măsurătorilor, să fie urmate de o perioadă, o durată de 8 ore, cu măsurarea pierderilor corona ; aceste condiții se realizează

de trei ori pe săptămînă, pe o durată totală de 96 ore săptămînal.

În figura 3 este prezentat graficul de variaţie a tensiunii aplicate fazei de încercat a liniei experimentale pe parcursul unui interval de 8 ore de măsurători. În această figură mărimea U_1 reprezintă o tensiune de referinţă care apli-

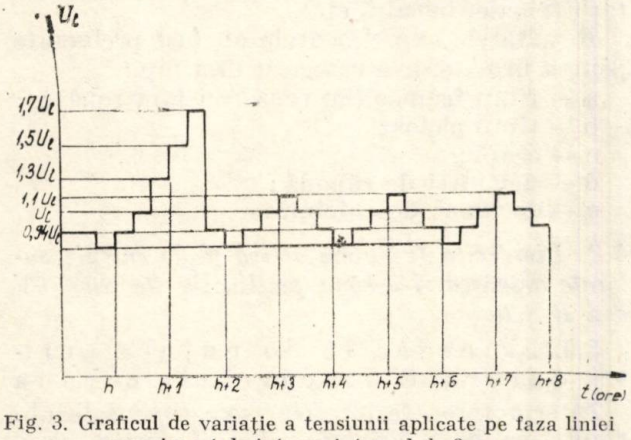


Fig. 3. Graficul de variaţie a tensiunii aplicate pe faza liniei experimentale într-un interval de 8 ore.

cată fazei în cauză asigură apariţia la suprafaţa conductoarelor a unui corp electric egal cu cel care există pe linia de 400 kV care se doreşte a fi modelată. Acest grafic de variaţie reprezintă de fapt cercetarea influenţei celuilalt parametru menţionat la începutul acestui paragraf, şi anume : cîmpului electric de la suprafaţa conductorului.

2. Criteriul de echivalenţă între linia experimentală şi cea reală de 400 kV

Determinările pe standul de modelare a liniilor au drept criteriu de echivalenţă cu instalaţiile reale apariţia aceluiaşi cîmp electric superficial.

Astfel, pentru stîlpul portal de 400 kV echipat cu două conductoare de 450 mm² pe fază cîmpul maxim apare pe faza mediană şi este :

$$E_{max_i} = \frac{q_i}{2\pi\varepsilon}\frac{1}{nr_{ca}}\left[1 + (n-1)\frac{r_{ca}}{R}\right], \quad (1)$$

unde :

n reprezintă numărul de subconductoare pe fază ;
r_{ca} — raza unui subconductor ;
R — raza de fasciculare,

iar

$$[q_i] = [C]\cdot[U], \quad (2)$$

în care :

$$[C] = \begin{bmatrix} 10{,}01 & -1{,}30 & -0{,}35 \\ -1{,}30 & 10{,}50 & -1{,}30 \\ -0{,}35 & -1{,}30 & 10{,}01 \end{bmatrix} \left[\frac{\text{pF}}{\text{m}}\right].$$

$$[U] = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2} + \text{j}\frac{3}{2} \\ 1 + \text{j}\,0 \\ -\frac{1}{2} + \text{j}\frac{3}{2} \end{bmatrix} U_{max.serv.}$$

Se obţine :

$$E_{max}\,[\text{kV/cm}] = 0{,}0764\,\frac{U_{max,serv.}[\text{kV}]}{3}. \quad (3)$$

Cîmpul electric pe faza mediană a liniei experimentale (pe care s-au făcut măsurători) exprimat în funcţie de tensiunea aplicată este de :

$$E_{max}\,[\text{kV/cm}] = 0{,}06526\ U_{aplicat}, \quad (4)$$

$$E_{med}\,[\text{kV/cm}] = 0{,}0608\ \ U_{aplicat}, \quad (5)$$

cu $U_{aplicat}$ în kV.

Prin egalarea relaţiilor (3) şi (4) se obţine tensiunea ce trebuie aplicată fazei liniei experimentale pentru obţinerea aceluiaşi cîmp electric ca pe LEA reală. În mod analog se procedează pentru orice altă structură de fază.

De exemplu, pentru linia echipată cu trei conductoare de 450 mm² stîlp portal se obţin :

— pentru linia reală, fază mediană :

$$E_{max} = 0{,}0560\ U_{max,serv.}$$

— pentru linia experimentală în configuraţie reală :

$$E_{max}\,[\text{kV/cm}] = 0{,}0488\ U_{aplicat},$$
$$E_{med}\,[\text{kV/cm}] = 0{,}0433\ U_{aplicat}, \quad (6)$$

cu $U_{aplicat}$ în kV.

3. Rezultatele experimentale. Pierderile de putere activă şi de energie datorită descărcării corona pe liniile de 400 kV din R.S.R.

3.1. Metodologia de prelucrare a rezultatelor experimentale

Metodologia de prelucrare a rezultatelor experimentale trebuie să ţină seama, pe de o parte, de mărimile care trebuie determinate şi, pe de altă parte, de caracteristicile rezultatelor experimentale obţinute.

Mărimile înregistrate (pierderi corona, condiţiile meteorologice, tensiunea) reprezintă mărimi aleatoare. Pentru a putea opera cu mărimile aleatoare este însă necesar ca cîmpul de evenimente aleatoare să fie destul de larg. Rezultă că se impune să se determine funcţia statistică de repartiţie a pierderilor, ca mărime aleatoare.

Aceste funcţii de repartiţii trebuie determinate pe categorii de timp (timp uscat, timp umed, ceaţă, ploaie — de diferite intensităţi, zăpadă moale, chiciură, polei, timp incert).

Pe baza funcţiilor statistice de repartiţie a pierderilor prin descărcarea corona se poate determina probabilitatea de apariţie a pierderilor corona de o anumită valoare.

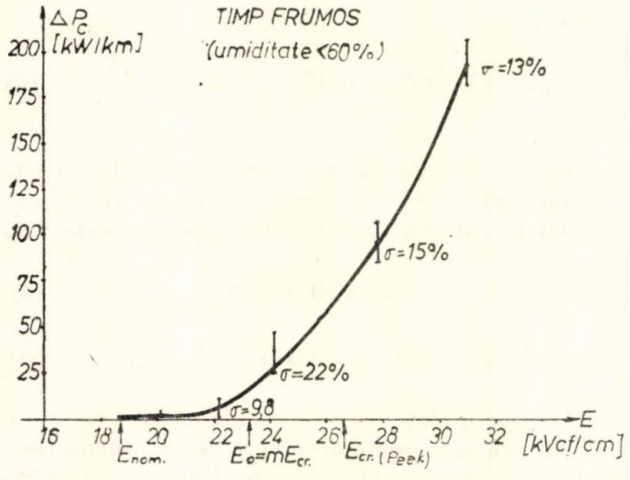


Fig. 4. Dependenţa pierderilor de putere activă de cîmpul electric de la suprafaţa conductorului.

Pentru exemplificare, în figura 4 se prezintă dependenţa pierderilor de putere activă specifică funcţiei de intensitate a cîmpului electric de la suprafaţa conductorului cu specificarea abaterilor medii pătratice.

La metodologia de prelucrare a rezultatelor experimentale trebuie să se ţină seama, de asemenea, de influenţa unor factori meteorologici.

Din măsurătorile efectuate se constată că la începutul unei ploi apare o creştere bruscă a pierderilor corona (care apoi se atenuează într-o oarecare măsură). În cazul cînd, pe o perioadă de timp, are loc o intensificare a ploii, pentru fiecare început de intensificare a precipitaţiilor apare o creştere bruscă a pierderilor. După încetarea ploii pierderile prin descărcarea corona nu scad imediat, ci după un anumit timp; în consecinţă, este necesar să se considere şi situaţii ce apar imediat după anumite precipitaţii (ploaie, burniţă etc).

Rezultatele experimentale au fost prelucrate pentru următoarele categorii de timp:

a — timp frumos (cu rouă sau fără rouă);
b — timp ploios;
c — ceaţă;
d — depuneri de zăpadă;
e — depuneri de chiciură.

3.2. Pierderile de putere activă şi de energie datorate descărcării corona pe liniile de 400 kV din R.S.R.

3.2.1. Pierderile de putere activă datorate descărcării corona

Interpretarea rezultatelor experimentale obţinute pe baza măsurătorilor efectuate pe o perioadă de 5 ani a permis să se determine următoarele valori ale pierderilor specifice de putere activă în cazul liniilor de 400 kV cu două, respectiv cu trei conductoare pe fază (tabelele 1 şi 2) [5, 6].

Din datele menţionate în tabelele 1 şi 2 rezultă influenţa deosebită a condiţiilor meteorologice asupra valorii pierderilor de putere activă prin descărcarea corona. Totodată se constată că prin trecerea liniilor de 400 kV cu două conductoare jumelate la trei conductoare jumelate pe fază pierderile de putere activă se reduc cu 40—50 %.

Dacă se compară datele prezentate în tabelele 1 şi 2 cu valorile rezultate prin calcul utilizînd metoda EdF sau metodele sovietice rezultă următoarele:

Tabelul 1

Pierderile de putere activă datorate descărcării corona pentru LEA 2 × 450/75 mm² OL—Al

Tipul liniei	Pierderi, P_c [kW/km]						Ceaţă	Zăpadă	Chiciură
	Starea timpului								
	Frumos		Ploaie, i [mm/m²] şi h valori medii						
	fără rouă	cu rouă*	0,1	0,1—0,6	0,7—1,2	1,3—2			
Simplu circuit (s.c.)	1,5	15	7,5	17	26	31	7,5	13,5	65
Dublu circuit (D.c)	1	14	6	16	24	29	6	12	62

* Influenţa încălzirii conductoarelor asupra valorii pierderilor prin descărcarea corona, de tensiune alternativă în cazul depunerilor de rouă sau pe timp de ceaţă, este neglijabilă; această încălzire poate avea chiar efecte de creştere a pierderilor. Spre deosebire de tensiunea continuă, la tensiunea alternativă are loc efectul de captare a picăturilor de apă [2, 9]. Pe de altă parte, roua apare în primele ore ale dimineţii, cînd sarcina pe linie este redusă; cum puterea transportată pe liniile de 400 kV este în mod obişnuit redusă, încălzirea conductoarelor în orele de dimineaţă practic nu are efect asupra pierderilor prin descărcarea corona, pe timp de ceaţă sau la depuneri de rouă. O cauză a creşterii pierderilor de putere în cazul depunerilor de rouă constă în faptul că umiditatea aerului din imediata apropiere a conductoarelor este crescută, ceea ce are ca efect creşterea lungimii strimerilor şi deci a pierderilor prin descărcarea corona.

Considerentele de mai sus explică de ce s-au obţinut experimental pierderi de putere prin descărcarea corona, relativ mari, la depunerea de rouă pe suprafaţa conductoarelor.

Tabelul 2

Pierderi de putere activă datorate descărcării corona pentru LEA 3 × 450/75 mm² OL—Al

Tipul liniei	Pierderi, P_c [kW/km]						Ceață	Zăpadă	Chiciură
	Starea timpului								
	Frumos		Ploaie, i [mm/m²] și h valori medii						
	fără rouă	cu rouă	0,1	0,1—0,6	0,7—1,2	1,3—2			
Simplu circuit (s.c.)	1,05	7	3,0	7,5	14,5	20,0	5,5	7,0	35,0
Dublu circuit (D.c.)	0,95	6	2,0	6,5	13,5	19,0	4,5	6,0	33,0

— pierderile de putere activă obținute pe baza încercărilor experimentale de la laboratorul de TTI din IPB sînt mai mari, fără să difere prea mult de cele obținute prin calcule, după metoda EdF și destul de mari în comparație cu cele rezultate aplicînd prescripțiile sovietice. Diferența față de rezultatele date prin aplicarea metodei EdF se datorează caracteristicilor constructive ale conductoarelor din țara noastră (cu asperități relativ numeroase și constructiv insuficient de compacte). Totodată, este de menționat că pierderile de putere activă rezultate prin aplicarea prescripțiilor sovietice sînt mai mici decît cele obținute prin metoda EdF sau aplicînd metoda propusă de Levitov [2], ceea ce explică diferența de valori față de cele obținute la noi;

— ponderea pierderilor de putere activă pentru diferite condiții atmosferice este asemănătoare ponderii acestor pierderi, în cazul utilizării diferitelor metode de calcul.

De menționat că valorile privind pierderile de putere activă specifice, datorate descărcării corona, menționate în tabelele 1 și 2, au fost incluse în instrucțiunile întocmite de către Centrala Industrială de Rețele Electrice și adoptate ca valori de referință pentru liniile de 400 kV cu două și trei conductoare pe fază, din țara noastră.

3.2.2. Pierderi de energie prin descărcarea corona

În calculul pierderilor de energie prin descărcarea corona este necesar a se cunoaște caracteristicile meteorologice ale traseului de linie.

Din punct de vedere meteorologic în România există șase zone (A ÷ F) caracterizate de un anumit număr de ore de timp frumos, timp de ploaie, de chiciură, ceață etc.

Calculul pierderilor anuale de energie se face cu ajutorul relației:

$$E = \sum_{1}^{z} l_z \cdot \sum_{1}^{i} P_i \cdot t_{i,z}, \qquad (7)$$

unde:

l_z este lungimea de linie, în km, care traversează o anumită zonă meteorologică;

P_i — pierderile specifice de putere, în kW/km, pentru zonele respective;

$t_{i,z}$ — durata diferitelor categorii de timp „i" în cadrul unei zone z.

Bibliografie

[1] Emilianov, A. P. *Koronnîie poteri v liniah elektroperedaci razsceplenîh v provodov dlia napriajenia ravnî ili vîşe 300 kV.* În: Elektriceskie stanții, 1967, nr. 9.

[2] Levitov, A. N. *Koronnîi razriad perimenogo taka.* Moscova 1969.

[3] Gary, C., Moreau M. *L'effet couronne en tension alternative.* Eyrolles, Paris, 1976.

[4] * * * *Transmission Line Reference Book 345 kV and above.* Electric Power Research Institute.

[5] Drăgan, G. ș.a. *Primele măsurători ale pierderilor prin descărcarea corona pe liniile de 400 kV efectuate în țară.* A II-a Conferință a Energeticienilor din România — București, 1980.

[6] Drăgan, G. ș.a. *Metodologie de prelucrare a rezultatelor experimentale privind pierderile prin descărcarea corona.* Simpozionul Național de rețele electrice. Craiova, octombrie 1982.

[7] * * * *Instrucțiuni privind determinarea pierderilor de putere activă și energie prin descărcarea corona, pentru liniile electrice aeriene de 400 kV, simplu și dublu circuit, cu două și trei conductoare pe fază.*

[8] Levitov, V. I., Popkov, V. I. *Poteri moşcinosti i energii no korona provodov linii sverhvisokogo napriajenia Dolntie elektroperedacia 750 kV voşdușnie linii.* Izd. Energhiia, Moskova, 1974.

[9] Cochet, M. R. *Captation de gouttelettes de brouillard par les lignes de transport d'énergie à haute tension.* În: Revue générale de l'électricité, 1953, nr. 3.

(Primit la 26 octombrie 1987, acceptat la 11 decembrie 1987)

Problemele actuale și de perspectivă ale utilizării surselor de energie fosilă și reînnoibilă în agricultura României

Prof. dr. doc. Dumitru Teaci, dr. doc. Nicolae Hurduc, mat. Cornelia Scutaru, ec. Mihai Ibănescu*

Descriptori: consumatori de energie electrică în agricultură, surse noi și refolosibile.

Dezvoltarea intensivă permanentă a procesului de producție agricolă a impus recurgerea la utilizarea unei cantități din ce în ce mai mari de resurse adăugate din afara agriculturii ca ramură în sine și o interferență tot mai puternică a acestei ramuri de bază a economiei naționale cu celelalte ramuri, mai ales cu industria constructoare de mașini, cu industria chimică și energetică.

În expresia ei simplificată ecuația producției agricole se poate exprima astfel :

$$y = N \cdot B \cdot M,$$

în care :

- y — reprezintă recolta sau produsul agricol global ;
- N — condițiile ecologice naturale ;
- B — resursele biologice naturale ;
- M — munca vie și munca trecută.

Toți termenii ecuației sînt puternic corelați între ei, relațiile sînt exponențiale și nu aditive și ca atare factorii își pot spori, diminua sau chiar anihila efectele în cazul unor neconcordanțe sau deficiențe la oricare din termenii ecuației.

Un rol crescînd în dezvoltarea intensivă a producției agricole revine surselor de energie exogenă, atît ca surse utilizate direct, cît și ca energie înglobată în mijloacele de producție și în materialele utilizate pentru nutriția plantelor, în protecția acestora și a animalelor împotriva bolilor și dăunătorilor etc. Este stabilită o corelație strînsă între creșterea producției la hectar și cantitatea de energie utilizată, precum și între acestea și productivitatea muncii în agricultură și, ca expresie directă a acesteia, rata populației ocupate în producția agricolă din totalul forței de muncă pe economie (fig. 1).

Din figura 1 se poate observa că „eliberarea" forței de muncă din producția agricolă nu s-a putut face decît odată cu creșterea consumului de surse energetice exogene agriculturii, respectiv de surse fosile.

Odată cu apariția și definirea pe termen lung a crizei energetice mondiale, sau mai bine zis a crizei „tehnologice" legate de noi surse de energie, agricultura intensivă, ca ramură consumatoare de energie exogenă, a fost confruntată cu această criză, cu toate că, chiar în

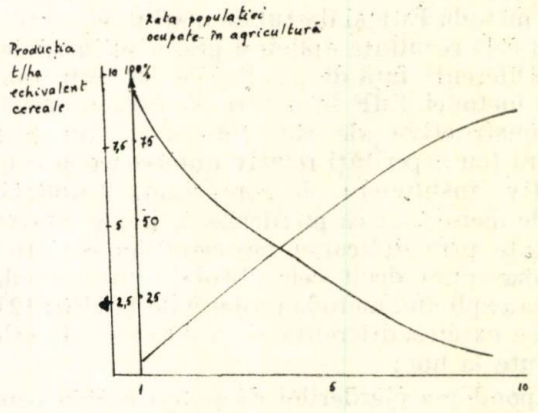


Fig. 1. Cantitatea de energie exogenă a griculturii utilizată la unitatea de suprafață sau de produs (unități convenționale).

țările cu cea mai intensivă agicultură, rata consumului pentru producția agricolă propriu-zisă nu depășește 5 — 6 %. În țara noastră aceasta se ridică la 3,5 — 4,1 %, inclusiv energia folosită pentru irigații. Pornindu-se de la faptul că principala ramură a economiei în decursul istoriei nu a apelat la resursele fosile de energie, s-a lansat în zilele noastre ipoteza că s-ar putea reveni la situația dinaintea mașinismului, deci la utilizarea tracțiunii, respectiv a forței animale de muncă și implicit a unei cantități mai mari de forță musculară umană. Acest mod de tratare a problemei este neadecvat din cel puțin două puncte de vedere :

1 — pentru hrana animalelor de muncă trebuie cheltuită o cantitate de combustibil dublă față de cea cheltuită cu mașinile, „combustibil socotit ca furaj și alte mijloace de întreținere a animalelor ;

2 — productivitatea muncii umane în cazul folosirii animalelor de muncă este de 3 pînă la 6 ori mai mică decît în cazul utilizării mașinilor agricole din etapa actuală.

Ca urmare, chiar dacă ar fi vorba să se recurgă, într-un viitor mai mult sau mai puțin îndepărtat, la asigurarea agriculturii cu surse

* Prof. dr. doc. Dumitru Teaci, dr. doc. Nicolae Hurduc, mat. Cornelia Scutaru, ec. Mihai Ibănescu — Institutul de Economie Agricolă — Fundulea.

autogene de energie, tipul de structuri energetice nu va fi cel bazat pe animalele de muncă.

Cercetările recente din țara noastră și din alte țări europene situate în condiții ecologice similare cu cele de la noi arată că în cazul folosirii combustibililor de origine agricolă (uleiuri, etanol, benzine, metanol) care să acopere necesarul pentru desfășurarea întregii producții, ar fi necesară o cotă de 8 — 12% din suprafața cultivată cu plante energetice. În această etapă, însă, cînd prețurile combustibililor fosili și mai ales al petrolului nu depășesc 25 de dolari barilul, combustibilii din fitomasă sînt încă nerentabili. Există, totuși, tehnologiile necesare pentru producerea lor.

În etapa actuală, se constată o creștere a consumurilor energetice la unitatea de suprafață și la unitatea de produs agricol în toate țările în care agricultura se dezvoltă intensiv, cu excepția S.U.A. unde marile resurse ecologice de care se dispune și mai ales resurse de soluri fertile, permit menținerea, și chiar o ușoară scădere, a consumurilor energetice. Pentru a putea evalua în mod obiectiv necesitatea optimă de resurse energetice și pentru a alege structurile economice și tehnologice cele mai adecvate, sînt elaborate o serie de modele matematice care iau în considerare, atît resursele devenite clasice, cît și cele reînnoibile preclasice sau moderne. Există asemenea modele elaborate de un colectiv FAO, modelul SIENA, precum și modele elaborate în țara noastră. Modelele de acest tip iau în considerare, în general, structurile economice și tehnologice date. Se poate face o corelare a unor asemenea modele cu cele care studiază structurile agricole înseși și care pot alege soluții mai mult sau mai puțin energointensive, mai ales în ceea ce privește utilizarea unor cantități diferite de îngrășăminte cu azot.

Modelul propus este conceput ca un instrument pentru luarea deciziilor în domeniul autoasigurării energetice parțiale a unităților agricole de producție. Scopul modelului este găsirea unei soluții optime de utilizare a energiilor neconvenționale disponibile, în vederea autoasigurării (parțiale sau totale) a unității cu energie. Problemele pe care le abordează sînt următoarele :

— evaluarea consumurilor energetice ale unității în vederea stabilirii necesarului de energie ;

— evaluarea potențialului propriu de energie neconvențională ;

— găsirea soluției optime de utilizare a acestui potențial în vederea satisfacerii totale sau parțiale a necesarului de energie.

Pentru rezolvarea acestor probleme au fost elaborate patru module diferite, avînd fiecare o bază de date proprie, precum și o schemă proprie de funcționare, în funcție de algoritmul propus pentru rezolvarea problemei respective. Modulele sînt interconectate între ele.

Pentru evaluarea consumurilor energetice ale unității în vederea stabilirii necesarului de energie, a fost elaborat modulul de analiză energetică a unității. Pornind de la structura de producție a unității, se calculează energia conținută în produsele agricole obținute și se dă o apreciere a eficienței energetice a procesului de producție în unitatea respectivă prin calcularea indicatorilor de sinteză : balanța energetică, randamentul energetic și coeficienții de conversie. Eficiența energetică a procesului de producție se poate analiza atît la nivelul fermei sau unității, cît și la nivelul tehnologiilor utilizate sau al produsului obținut.

Din datele calculate de acest modul, două sînt preluate la nivelul modulului de optimzare :

— randamentul energetic al produsului, sub forma unei condiții care nu permite utilizarea în scopuri energetice a produselor care nu sînt ele însele rentabile din punct de vedere energetic ;

— consumul direct de energie al unității, care reprezintă necesarul de energie (combustibili, energie electrică etc.).

Pentru evaluarea potențialului propriu de energii reînnoibile s-a procedat în mod diferit, în funcție de sursa de energie reînnoibilă : biomasa, energie solară și energie eoliană. Pentru evaluarea potențialului de energie provenit din biomasă a fost elaborat un modul special, care, pornind de la structura de producție a unității și nivelul producțiilor medii planificate, calculează potențialul energetic al biomasei în funcție de opțiunile decidentului privind utilizarea energetică a biomasei disponibile. Opțiunile decidentului se referă la destinația energetică a producției vegetale secundare, care poate fi utilizată ca furaj și numai într-o anumită proporție în scopuri energetice, a producției vegetale principale care are în prezent utilizare alimentară (sfeclă de zahăr, grîu, porumb etc.), a dejecțiilor animaliere, utilizate în prezent ca îngrășămînt natural. Numai culturile energetice propriu-zise, care nu au alte utilizări în prezent, cum sînt sorgul zaharat și topinaburul, și care au fost cultivate pentru a fi prelucrate în scopuri energetice, sînt preluate în calcul direct, fără opțiunea decidentului, considerîndu-se că opțiunea a fost făcută atunci cînd s-a alocat în unitate suprafața în scopuri energetice.

Potențialul energetic al biomasei este evaluat în funcție de destinația produsului : obținerea alcoolului, uleiului, benzinei sau biogazului. Datele calculate în acest modul sînt folosite de modulul de optimizare.

Evaluarea potențialului energiei solare se face global, pe baza numărului de ore de însorire a localității sau zonei unde se află localitatea respectivă.

Evaluarea potențialului energiei eoliene se face pe baza zonării energiei vîntului, în funcție de numărul mediu de ore cu vînt măsurate pe

praguri de viteză. Pe baza lor se calculează viteza nominală medie a zonei în care se află situată unitatea.

Pentru găsirea soluției optime se procedează în mod diferit pentru cele trei surse de energie reînnoibilă : biomasa, energia solară și energia eoliană. Principiul este însă același : s-a creat o bază de date cuprinzînd informațiile tehnice, economice și posibilitățile de utilizare specifică diferitelor instalații. Bazele de date sînt distincte pentru cele trei tipuri de energie. Fiecare bază de date cuprinde instalații de capacități diferite, cu caracteristici tehnice și utilizări diferite, care pot valorifica potențialele diferite oferite de condițiile concrete ale unității. Fișierele respective sînt deschise, în sensul că pot fi completate oricînd cu indicatorii specifici altor instalații de același tip. Algoritmul este diferit pentru fiecare sursă, dar în principiu lucrează în două etape : în prima etapă în funcție de potențialul specific unității și de capacitățile instalațiilor care pot utiliza sursa respectivă, algoritmul alege soluțiile tehnic posibile ; în a doua etapă, din cele cîteva soluții tehnic posibile se alege soluția optimă. Criteriul de optimizare este comun : minimizarea investiției specifice. Se pot alege și alte criterii : optimizarea costurilor de producție etc. Pentru soluția optimă aleasă sînt prezentate toate datele tehnice și economice specifice.

Modelul este elaborat pe un terminal de prelucrare a datelor, cu discheti mici. Modulele funcționează independent, legăturile dintre ele putînd fi preluate de decident ; bazele de date

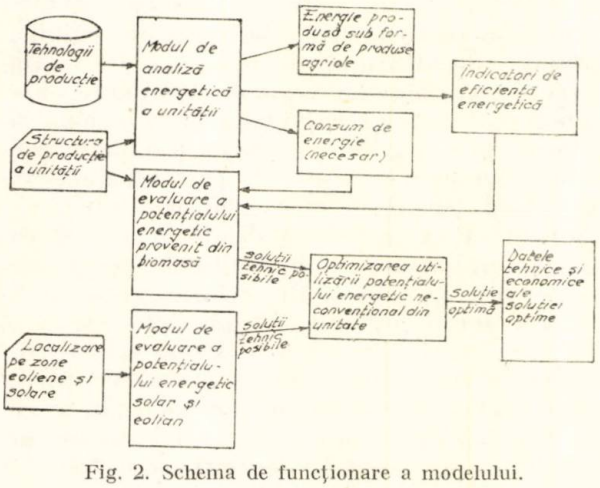


Fig. 2. Schema de funcționare a modelului.

sînt deschise pentru a putea fi completate oricînd cu alte informații. Modelul funcționează în regim convențional. În figura 2 se prezintă schema de funcționare a modelului. Pentru a ușura utilizatorului accesul la model în scopul de a face din model un instrument decizional simplu și eficient, sînt prevăzute diferite alternative de funcționare. De exemplu : la modulul de analiză energetică utilizatorul poate folosi fișierul de tehnologii, în care sînt înregistrate circa 350 tehnologii pentru diferite culturi și diferite producții medii. Acest fișier dispune de posibilitatea de a interpola valorile indicatorilor dacă producția medie nu are valoarea înscrisă în fișier, ci se situează între două valori apropiate, dar folosirea fișierului nu este obligatorie : utilizatorul își poate introduce propriile tehnoloii specifice unității pentru care lucrează, în oricît de multe variante dorește. Toate rezultatele pe care le calculează acest modul pot fi cerute la diferite niveluri : total unitate, fermă, produs, tehnologie

De asemenea, opțiunile privind utilizarea energetică a biomasei nu sînt obligatorii. În cazul în care nu se face nici o opțiune, calculatorul consideră că producția secundară vegetală și dejecțiile animaliere intră în circuitul energetic în proporție de 100% ,iar producția principală nu intră deloc. Numai culturile cu specific energetic sînt luate în calcul în proporție de 100%.

Rezultatele obținute de model au scopul de a servi ca bază pentru luarea deciziilor în domeniul autoasigurării energetice a unității. Ele pot fi sintetizate în două grupe :

a — rezultate privind analiza energetică a unității, care sînt destinate unei analize comparative a producției, consumurilor energetice și eficienței energetice a unității ;

b — rezultatele privind caracteristicile tehnice și economice ale soluțiilor optime de utilizare a potențialului energetic propriu provenit din surse regenerabile.

Procedînd la o analiză atentă a structurilor actuale ale producției agricole din țara noastră și ale consumurilor energetice cerute de aceste structuri se pot obține date importante, atît în ceea ce privește posibilitatea și necesitatea schimbării structurii surselor energetice prin creșterea esențială a ponderii surselor reînnoibile, cît și schimbarea structurilor economice și tehnologice agricole înseși, pentru a le adecva la etapa actuală, cînd criza energetică nu pare a fi rezolvabilă în termen scurt.

Bibliografie

[1] Hurduc, N., Teaci, D., Șerbănescu, E., Hartia, S. *Potential for fuel production from crops energy*. In: Agriculture, 5 (1986), p. 151—159.

[2] Teaci, D. *Limitele ecologice și economico-sociale ale autonomiei energetice a producției agricole* (reuniune UNESCO-București, nov. 1985).

[3] Teaci,D. *Ecological and energy resources problems of their rational use in rural development*. In: Energy in Agriculture abstract of the International Conference, oct. 1986, Brescia, Italy.

(Primit la 8 decembrie 1987, acceptat la 6 ianuarie 1988)

ERATĂ

În nr. 1 al revistei, p. 8, rîndul 27 de sus, coloana stîngă, și la nota de picior corespunzătoare, se va citi petajoule în loc de pentajoule.

(urmare din pag. 61)

și conceptele acestei științe de sinteză, limbajul matematic și legătura sa cu energetica ;

— *Cibernetica riscului securității tehnologiilor nucleare*, de A. Gheorghe, care scoate în evidență multiplele aspecte ale problemelor de securitate în instalațiile energetice nucleare ;

— *Energia și timpul*, de S. Marcus, în care se comentează lucrarea colectivă : *„Energy and Time in Economic and Physical Sciences"* editată la Amsterdam în 1985 de W. van Gool și J. Bruggink ;

— *Conceptul de entropie în știință și tehnică*, de H. Theil, în care se tratează aplicarea noțiunii de entropie în alte domenii decît cel al termodinamicii. În același domeniu este de menționat în mod special articolul despre *„Electrodinamica corpurilor în mișcare"*, a lui Albert Einstein, publicată în anul 1905, privind teoria relativității restrînse, care este prezentat în traducere (prima oară în limba română) și comentat de O. Stoenescu.

Un spațiu amplu al publicației este destinat **problemelor teoretice și practice legate de producerea energiei**. Dintre articolele legate de această tematică notăm :

— *Procese de ardere în strat, fără zgurificare, a lignitilor inferiori, folosind reciclarea gazelor de ardere* de N. Antonescu, care prezintă bazele teoretice și tehnice ale acestui sistem, cu aplicații la cazanele mici de tip Metalica, GIR, MAC-05 și M1G ;

— *Alimentarea cu combustibil inferior a centralelor termoelectrice cu considerarea fiabilității în funcționare*, de V.I. Nitu și D. C. Ionescu, care analizează fiabilitatea diferitelor subsisteme ale sistemului de alimentare cu cărbune a centralelor termoelectrice, ținînd seama de caracteristicile reale ale cărbunilor inferiori din țara noastră ;

— *Solicitări la pornirea blocului cazan-turbină*, de P. Laurențiu, privind aspecte tehnice care, avute în vedere la pornirea blocurilor, pot influența în mod favorabil economicitatea operației și solicitările echipamentelor ;

— *Turbine cu aburi pentru regimuri de funcționare de scurtă durată*, de A. Nabijovici, unde se scoate în evidență o serie de elemente constructive, care trebuie avute în vedere pentru o funcționare optimă ;

— *Procedee uscate de desulfurare a gazelor de ardere*, de E. Ataman, în care se prezintă diferitele tehnologii de acest gen utilizate în prezent pe plan mondial ;

— *Coroziunea țevilor din aliaj de cupru la schimbătoarele de căldură din centralele termoelectrice*, de A. Cocoș, care atrage atenția asupra diferitelor forme de coroziune pe parcursul exploatării, indicînd și metodele de protecție ;

— *Criterii de dimensionare a izolațiilor termice*, de V. Mușatescu și A. Leca, în care se trec în revistă diferitele metode de dimensionare a izolațiilor, făcîndu-se și unele propuneri de îmbunătățire.

În domeniul **sistemelor și rețelelor electrice** notăm :

— *Cercetări privind instalațiile electrice de 750 kV*, de G. Drăgan, D. Cristescu, M. Ungureanu și P. Postolache, în care se descriu cercetările teoretice și experimentale efectuate asupra acestor instalații în cadrul Institutului Politehnic București și rezultatele obținute ;

— Prescripția republicană *PE* 135 privind secțiunile economice ale liniilor electrice, de P. Buhuș și P. Comănescu, unde se prezintă criteriile teoretice, tehnice și economice, care au stat la baza acestor prescripții, dîndu-se și exemple de calcul ;

— *Efectele energetice ale regimurilor nesimetrice și deformante ale sistemelor electroenergetice. Posibilități de măsurare*, de A. Țugulea și C. Golovanov, în care se prezintă o bază teoretică a acestei probleme și o generalizare a teoremei lui Tellegen, scoțînd în evidență valoarea importantă a pierderilor datorate regimurilor nesimetrice și deformante și necesitatea măsurării corecte a acestora ;

— *Conducerea automată a rețelelor electrice de distribuție*, de A. Poeată și Gh. Georgescu, unde se analizează stadiul actual al problemei, punîndu-se accentul pe modelele matematice și graficele tip de sarcină și utilizarea acestora în programe de calcul specializate.

În domeniul **metodelor și mijloacelor de măsurare** sînt de remarcat :

— *Unități de măsură pentru mărimi frecvent utilizate în energetică*, de E. Pavel, C. Mihăileanu și A. Leca, în care, după ce se face un scurt istoric al sistemelor de unități de măsură, se analizează unitățile de măsură pentru energie, putere, presiune și temperatură, insistîndu-se pentru folosirea unităților din Sistemul Internațional în vigoare în țara noastră, dîndu-se formule și tabele de echivalență între aceste unități și unitățile tradiționale, care sînt în prezent încă larg folosite și care trebuie eliminate în timp ;

— *Măsurarea debitelor de fluid cu ajutorul rotametrelor. Debitmetrele tip ROTROM-IAMC Otopeni*, de H.M.Moțit, unde se face o descriere a acestui tip de debitmetre cu secțiune de măsurare cu arie variabilă ;

— *Tehnici de măsurare a vitezelor de curgere a fluidelor. Anemometre*, de N. Gurău, care este o trecere detaliată în revistă a diferitelor metode de măsurare și a tipurilor de anemometre ;

— *Contoare electronice de energie electrică*, de A. Millea, unde se face un scurt istoric, se arată principiul de funcționare și se descriu diferite tipuri de astfel de contoare, cu grad de precizie ridicat, însă cu preț de cost mare și cu fiabilitate încă redusă.

În domeniul **distribuției, utilizării și gospodăririi rationale a energiei**, o serie de articole se ocupă de aspecte cu caracter de aplicații practice :

— *Intensificarea transferului de căldură în cuptoare de încălzire din siderurgie*, de I. Gh. Carabogdan și A. Gaba, unde se prezintă un model matematic de calcul și o aplicație practică la un cuptor de încălzire ;

— *Soluții pentru gospodărirea rațională a condensatului rezultat din procesele tehnologice industriale*, de O. Țuțuianu, care se ocupă de măsurile ce trebuie luate pentru reducerea pierderilor de condensat în întreprinderile consumatoare de abur ;

Recenzie

— *Alimentarea cu energie electrică a întreprinderilor industriale*, de H. Albert și I. Florea, care prezintă o serie de considerații privind situația din țara noastră și din alte țări a acestei probleme și tendințe de dezvoltare în perspectiva anului 2000 ;

— *Recuperatoare de căldură industriale. Elemente de construcție, proiectare, alegere și utilizare*, de B. Popa, T. Mădărășan, B. Apahideanu, N. Cîmpianu, S. Russu și M. Popa, precum și articolul *Utilizarea resurselor termoenergetice recuperabile de nivel termic mediu și coborît în cicluri termodinamice cu agenți organici*, de I. Gh. Carabogdan, A. Badea, F. Alexe și P. Blaga, care sînt studii vizînd ridicarea randamentelor termice în instalațiile industriale.

O abordare a problemelor de **ecologie în domeniul energetic** o reprezintă studiul *Centrala termoelectrică și mediul înconjurător*, de C. Moțoiu, în care se arată principalii factori de poluare a aerului, a cursurilor de apă, a solului și a apelor freatice, măsurile necesare pentru limitarea acestora și efectul economic al măsurilor.

Dintre materialele cu caracter de **informare tehnică** notăm :

— *Unele date privind dezvoltarea energetică a țărilor din Europa și America de Nord*, de G. Manolescu ;

— *Aspecte economice ale utilizării captatoarelor solare de diferite tipuri*, de D. Moraru, E. Toma și P. Chebeleu ;

— *Conferința Națională de Energetică. Dimensiuni și probleme ale energeticii românești*, de V. I Nitu și A. Gheorghe ;

— *Soluții aplicate în centralele IRE Brașov privind transformarea cazanelor de abur în cazane de apă caldă*, de H. Curcă ;

— *Cercetări privind implementarea lămpilor cu vapori de sodiu în iluminatul interior*, de C. Bianchi, G. Chiriță, H. Herman și V. Posticescu ;

— *Încărcarea electrostatică a lichidelor inflamabile în instalațiile de transport și stocare*, de G. Drăgan, N. Golovanov și I. Lungu ;

— *Procesele chimice și rezervele de energie ale omenirii*, de S. Zaikov.

În ansamblu, publicația cuprinde o varietate de probleme din domeniul energetic, capabile să satisfacă un cerc larg de specialiști și care sînt tratate la un nivel termic și științific corespunzător înaltei profesionalități a autorilor.

Se dovedește că publicația **ENERG** este o platformă de comunicare inter- și multidisciplinară între energeticieni, servind în același timp dezvoltarea energeticii în țară noastră.

Publicația răspunde în mod eficient unei necesități în literatura de specialitate, satisfăcînd cerințele energeticienilor, mai ales ale acelora din unitățile economice industriale.

Colaborarea strînsă între revista **ENERGETICA** și publicația **ENERG** asigură corelarea necesară în conținut și nivel, astfel încît specialiștii să poată găsi răspunsuri la problemele cu care se confruntă.

ing. Costin Rucăreanu

СОДЕРЖАНИЕ

ЖУРНАЛУ „ЭНЕРГЕТИКА“ ИСПОЛНЯЕТСЯ 35 ЛЕТ

НАПРАВЛЕНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ

ЕУДЖЕНУ ПАВЕЛ, МАНФРЕД ШТАЙН, ФЛОРИН МИХЭЙЛЕСКУ: Понятие надежности в работе в исследованиях по развитию энергетических систем 49—53

РАЗВИТИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

ПЕРСИДА ЯНКОВИЧ: О возможностях оценки реального уровня надежности в покрытии электроэнергии, потребляемой энергосистемой 54—55

УПРАВЛЕНИЕ И АВТОМАТИКА ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

МИХАЙ МОГА, АДРИАН БУТА, КОРНЕЛИЯ ИВАШКУ, ЛИВИУ МИЛЯ: Экспериментальное определение статических характеристик мощность, в зависимости от напряжения комплексных потребителей 56—61

АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

ПАУЛ ЭМИЛ РАШКУ: Основое электрическое оборудование и площадки электрических подстанций высокого напряжения атомных электростанций. Положение на мировом уровне 62—72

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ

НИКОЛАЕ ГАВРИЛАШ, МИРЧА ГУШЭ, АДРИАН БАРАБОЙ: О некоторых современных средствах защиты электроэнергетических установок от перенапряжений 73—81

ИЛИЕ ПОПЕСКУ, ДУМИТРУ БЭРБУЛЕСКУ, НИКОЛАЕ СУФЛЕЦЕЛ, ЮСТИНА ЗАХАРИА: К вопросу об определении гармонических активных мощности и энергии, рассеянных в неразветвленных электрических сетях, снабжающих нелинейные приемники 81—84

ГЛЕБ ДРЭГАН, МАРИЛЕНА УНГУРЯНУ, ГЕОРГЕ МЭГУРЯНУ: Удельные расходы активной мощности и энергии, вызванные коронными разрядами, на линиях 400 кВ 85—89

НОВЫЕ ИСТОЧНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ

ДУМИТРУ ТЕАЧ, НИКОЛАЕ ХУРДУК, КОРНЕЛИЯ СКУТАРУ, МИХАЙ ИБЭНЕСКУ: Актуальные и перспективные вопросы использования ископаемых и возобновляемых источников энергии в сельском хозяйстве Румынии 90—92

НОВОСТИ

РЕЦЕНЗИИ 53, 61

INHALT

DIE ZEITSCHRIFT „ENERGETICA“ AM 35. JAHRESTANG

ENTWICKLUNGSRICHTUNGEN IN DER ENERGIEWIRTSCHAFT

EUGENIU PAVEL, MANFRED STEIN, FLORIN MIHĂILESCU: Der Begriff „Zuverlässigkeit“ in den Entwicklungsstudien der Energiesysteme 49—53

DIE ENTWICKLUNG DER ENERGIESYSTEME

PERSIDA IANCOVICI: Auswertungsmöglichkeiten des reellen Sicherheitsbildes in der Sicherung des Elektroenergieverbrauches des Energiesystems 54—55

DIE LEITUNG UND REGELUNGSTECHNIK DER ENERGIESYSTEME

MIHAI MOGA, ADRIAN BUTA, CORNELIA IVAŞCU, LIVIU MILEA: Die experimentelle Bestimmung der statischen spannungsabhängigen Leistungskennwerte der grossen Verbraucher 56—61

KERNKRAFTWERKE

PAUL EMIL RAŞCU: Elektrische Hauptausrüstungen und der Standort der Hochspannungsanlagen der Kernkraftwerke. Die Situation weltweit 62—72

ELEKTRISCHE NETZE

NICOLAE GAVRILAŞ, MIRCEA GUŞĂ, ADRIAN BARABOI: Moderne Überspannungsschutzmittel in Elektroenergieanlagen 73—81

ILIE POPESCU, DUMITRU BĂRBULESCU, NICOLAE SUFLEŢEL, IUSTINA ZAHARIA: Zur Bestimmung der Leistung der aktiven Energie zerstreut in unverzweigte nicht-lineare Empfänger speisende elektrische Netze 81—84

GLEB DRĂGAN, MARILENA UNGUREANU, GHEORGHE MĂGUREANU: Spezifische Verbrauchswerte an aktiver Leistung und Energie in den 400 kV-Leitungen, infolge von Corona-Entladungen 85—89

NEUE ENERGIEQUELLEN UND -TECHNOLOGIEN

DUMITRU TEACI, NICOLAE HURDUC, CORNELIA SCUTARU, MIHAI IBĂNESCU: Aktuelle Fragen und Zukunftsaussichten zur Anwendung der fossilen und wiederverwendbaren Energiequellen in der rumänischen Landwirtschaft 90—92

NEUIGKEITEN

BUCHBESPRECHUNGEN 53, 61

SOMMAIRE

LA REVUE „ENERGETICA“ FÊTE SON 35 ANNIVERSAIRE

ORIENTATIONS DES POLITIQUES ÉNERGETIQUES

EUGENIU PAVEL, MANFRED STEIN, FLORIN MIHĂILESCU: Le concept de fiabilité dans les études de développment des réseaux d'énergie 49—53

DÉVELOPPEMENT DES RÉSEUAX D'ÉNERGIE

PERSIDA IANCOVICI: Possibilités d'évaluer le niveau de sûreté afin de satisfaire la consommation d'énergie électrique du réseau d'énergie 54—55

CONDUITE ET AUTOMATION DES RÉSEAUX D'ÉNERGIE

MIHAI MOGA, ADRIAN BUTA, CORNELIA IVAŞCU, LIVIU MILEA: Détermination expérimentale des caractéristiques statiques de puissance fonction de tension des usagers complexes 56—61

CENTRALES NUCLÉAIRES

PAUL EMIL RAŞCU: Les principaux matériels électriques et les emplacements des postes électriques â haute tension des centrales nucléaires. La situation dans le monde 62—72

RÉSEAUX ET POSTES ÉLECTRIQUES

NICOLAE GAVRILAŞ, MIRCEA GUŞĂ, ADRIAN BARABOI: Moyens modernes pour la protection des installations électriques contre les surtensions 73—81

ILIE POPESCU, DUMITRU, BĂRBULESCU, NICOLAE SUFLEŢEL, IUSTINA ZAHARIA: Le calcul de la puissance et de l'énergie active dissipée dans les réseaux électriques sans dérivations qui alimentent des récepteurs non-linéaires 81—84

GLEB DRĂGAN, MARILENA UNGUREANU, GHEORGHE MĂGUREANU: Les consommations spécifiques de puissance active sur les lignes de 400 kV dues à la décharge couronne 85—89

NOUVELLES SOURCES ET TECHNOLOGIES ÉNERGETIQUES

DUMITRU TEACI, NICOLAE HURDUC, CORNELIA SCUTARU, MIHAI IBĂNESCU: Problèmes actuels et de perspective de l'utilisation des sources d'énergie fossile et renouvelables dans l'agriculture de Roumanie 90—92

NOUVEAUTÉS

COMPTE-RENDUS 53, 61

CONTENTS

THE REVIEW "ENERGETICA" AT ITS 35-th ANNIVERSARY

TRENDS IN ENERGY POLICY

DC 621.311: 621.3.019.3

EUGENIU PAVEL, MANFRED STEIN, FLORIN MIHĂILESCU: The Concept "Reliability" in Energy Systems Development Studies

Reliability is one of the major problems characterizing all the activities of an electric energy system. The extension of the concept "reliability" on the electric energy system has led to certain peculiarities which cannot be ignored.

The reliability criteria used in our country for dimensioning and establishing the structure of an eletric energy system are quite similar to those of the countries with advanced energy systems.

The paper presents the manner in which the concept "reliability" is used in electric energy systems development studies.

[Energetica 36 (1988), nr. 2, p. 49—53]

ENERGY SYSTEMS DEVELOPMENT

DC 621.316.052: 621.3.019.3

PERSIDA IANCOVICI: Possibilities to Evaluate the Real Safety Level in the Electricity Consumption Supply of the Energy System

A set of safety indicators liable to characterize the real power and electricity consumption aptitude of the energy system is proposed.

The use, at the effective operation analysis, of some of the proposed indicators is explained, thus enabling a better survey of the realities and constituting a first step towards a normal energy situation in the national energy system.

[Energetica 36 (1988), nr. 2, p. 54—55]

ENERGY SYSTEMS CONTROL AND AUTOMATION

DC 621.3.016.25+621.3.016.24: 66.012.3

MIHAI MOGA, ADRIAN BUTA, CORNELIA IVAȘCU: Experimental Determination of Steady State Voltage Dependent Power Characteristics of Complex Consumers

The paper presents the method for obtaining steady state characteristics of complex consumers by an experimental method using active tests. A measuring and registration device suitable for these determinations is used and applied for the steady state determination of a complex consumer of Timișoara. The results are presented graphically and analytically in the paper offering useful data for similar complex consumers in order to enable the steady state characteristic coverage of other even larger complex consumers. A suitable estimation algorithm of the steady state characteristics parameters of complex consumers on the basis of the least squares method is discussed.

[Energetica 36 (1988), nr. 2, p. 56—61]

NUCLEAR POWER PLANTS

DC 621.311.25: 621.039

PAUL EMIL RAȘCU: Main Electrical Equipment and the Locations of High Voltage Substations of Nuclear Power Plants. A Worldwide Survey

The paper presents and analyzes the manner to solve the construction of nuclear power plants such as:

— the manufacturing progresses and limits of the main electrical equipment, turbogenerators, power transformers and high voltage eqipment;

— quality requirements of electrical equipment and quality assurance philosophy;

— the structure of the general nuclear power plant design with special reference to the eigenconsumers supply station from the system and of the connection substation to the power system grid.

At the same time the solutions applied within the nuclear power plant Cernavodă are indicated as well enabling a comparison of their congruence or incongruence to the generally adopted trends.

[Energetica 36 (1988), nr. 2, p. 62—72]

ELECTRIC NETWORKS

DC 621.315.1 :621.3.015.3

NICOLAE GAVRILAȘ, MIRCEA GUȘĂ, ADRIAN BARABOI : Some Modern Protection Means of Electric Power Installations Against Overvoltages

Some construction and operational characteristics as well as the use of metallic oxides dischargers in overvoltages protection are presented. The advantages of this new solution for decreasing the insulation level and for increasing the reliability of power installations are outlined.

[Energetica 36 (1988), nr. 2, p. 73—81]

DC 621.311.1 :621.3.016.24

ILIE POPESCU, DUMITRU BĂRBULESCU, NICOLAE SUFLEȚEL, IUSTINA ZAHARIA : On the Determination of the Power and Active Energy Dissipated in the Non-branched Electrical Networks Which Supply Nonlinear Receivers

In this paper the authors present the advantages of using ZnO arresters for the protection of power networks against lightning overvoltages and switching surges.

[Energetica 36 (1988), nr. 2, p. 81—84]

DC 621.315.1 :537.525.3

GLEB DRĂGAN, MARILEMA UNGUREANU, GHEORGHE MĂGUREANU : Specific Active Power and Energy Consumptions at the 400 kV Lines Due to Corona Discharges

The Polytechnic Institute's High Voltage Laboratory has promoted several theoretical and experimental studies on the active power and energy losses at the 400 kV lines due to corona discharges.

From the theoretical point of view, the equivalence criterion between the Laboratory's experimental line and the real Romanian 400 kV line has been deduced.

Based on the measurements performed, the losses in the period 1979—1989 could be estimated on the line model which models a portion of the 400 kV line with two or three twin conductors.

With that end in view, an automatic Schering bridge has been realized and the weather conditions characterizing the very moment of performing the measurements were always taken into account.

The experimental results have been statistically processed.

On the basis of this study, the necessary instructions could be derived concerning the active power and energy losses at the Romanian 400 kV lines with two or three twin conductors due to corona discharges.

[Energetica 36 (1988), nr. 2, p. 85—89]

NEW ENERGY SOURCES AND TECHNOLOGIES

DC 620.9.004.1

DUMITRU TEACI, NICOLAE HURDUC, CORNELIA SCUTARU, MIHAI IBĂNESCU: Present Problems and Future Outlook of Fossile and Renewable Energy Sources Utilization in Romania's Agriculture

As a European country with a high population density on the surface unit (0.4 ha of plowable land per capita) Romania is obliged to apply an intensive agricultural activity using the natural production capacities offered by the land itself, which are as a whole at the average level, as well as some additional energy sources exogenous to agriculture.

Thus, different zonal agricultural-ecological systems are analyzed, outlining some alternatives worth the consideration for a maximal economic and mainly energetic gain for every separate case as well as for the entire agriculture of our country. A data processing model for the generation and utilization optimization of renewable energy sources for a single enterprise is analyzed.

[Energetica 36 (1988), nr. 2, p. 90—92]

NEWS

REVIEWS 53, 61

COLEGIUL DE REDACȚIE

Redactori responsabili adjuncți: **dr. ing. Mihai G. M. Pop, dr. ing. Gheorghe Bălan, ing. Radu Opincaru**

Secretar de redacție: **dr. ing. Eugeniu Pavel**

Gestiune financiară: **ec. Monica Livezeanu**

Orientări în energetică: **dr. ing. Mario Duma**

Energetica în unități economice: **ing. Ion Măiereanu, ing. Alexandru Florescu**

Dezvoltarea sistemelor energetice: **dr. ing. Nicolae Armencoiu, dr. ing. George Manolescu**

Conducerea și automatica SE: **dr. ing. Victor Romert, dr. ing. Jean Constantinescu**

Centrale termoelectrice: **conf. dr. ing. Costin Moțoiu, ing. Romeo Zbarcea, dr. ing. Teodor Popa**

Centrale hidroelectrice: **dr. ing. Gheorghe Luca**

Centrale nuclearoelectrice: **ing. Adrian Georgescu, prof. dr. ing. Nicolae Dănilă**

Rețele electrice: **ing. Dinu Voinea, ing. Nicolae Georgian**

Alimentare cu căldură: **ing. Nicolae Niculescu**

Surse și tehnologii noi: **ing. Constantin Popescu**

Tehnologii chimice în energetică. Poluare: **dr. chim. Maria Maftei**

Organizarea producției și a muncii: **ing. Miron Popescu**

Istoria electrificării: **ing. Paul Cartianu**

Noutăți: **ing. Mihai Nistor, ing. Romulus Sfichi**

Terminologia energetică: **dr. ing. Iosif Cserveny, dr. ing. Teodor Popa**

Centre universitare și industriale:

București: **conf. dr. ing. Alexandru Selischi**
Iași: **prof. dr. ing. Alexandru Poeată**
Timișoara: **prof. dr. ing. Viorel Negru**
Cluj: **conf. dr. Silviu Darie**

Acest număr a fost realizat cu concursul următorilor secretari ai grupelor de specialitate:

— **ing. Florin Popovici** — Orientări în energetică
— **dr. ing. Anton Vlădescu** — Dezvoltarea sistemelor energetice
— **dr. ing. Marius Pomârleanu** — Conducerea și automatica sistemului energetic
— **dr. ing. Alexandru Blada** — Centrale nuclearoelectrice
— **dr. ing. Traian Ioneseu** — Rețele electrice
— **ing. Ion Turcu** — Surse și tehnologii noi

Revista „ENERGETICA" este editată și administrată de Institutul de Cercetări și Modernizări Energetice prin Oficiul de Informare Documentară pentru Energetică.
Vasile Pleșa — șef OIDE, **Ana Maria Chivu** — redactor

Revista ENERGETICA — publicație lunară, reflectă preocupările spirituale și realizările materiale în domeniul energeticii. Funcționează în conformitate cu ROF aprobat cu Ordinul nr. 651/1984.

Elaboratorii de lucrări propuse spre publicare sînt rugați să consulte „Îndrumările pentru întocmirea și prezentarea lucrărilor propuse a fi publicate în revista Energetica" și „Ghidul pentru avizarea lucrărilor propuse a fi publicate în revista Energetica" apărute în nr. 12/1986 precum și „Planul tematic al revistei Energetica" apărut în nr. 6/1987.

Instituțiile pot achita abonamentele în contul de virament nr. 30.11.8.01.01 — BNR.S.R. Fil. Sector 3. Costul unui abonament : 144 lei anual ; costul unui exemplar : 12 lei

Redacția și administrația : București 79619, Bd. Energeticienilor nr. 8, sect. 3
Telefon : 20.67.30, 21.46.30

ANNOUNCEMENTS FOR READERS ABROAD

- **The review "Energetica" can send on request from publications abroad reports translated in one of the worldwide spoken languages**
- **The review "Energetica" proposes a publication exchange with similar reviews and in relating fields**
- **The review "Energetica" provides and publishes or introduces books on energy received at the editorial office. Reviews and presentations of books sent on this purpose to the editorial office can be published as well**
- **The review "Energetica" publishes on request from authors abroad reports of other materials : technical and scientific news, inventions-innovations, information about technical and scientific symposia, etc. written in one of the worldwide spoken languages**
- **Readers from abroad can subcribe through : ROMRPESFILATELIA — sectorul import-export, P.O. Box 12—501, telex 10376 prsfir, Calea Griviței nr. 64—66, București — România.**

Tiparul : Întreprinderea Poligrafică „Informația", București, str. Brezoianu 23—25 c. 2039

MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA KÖNYVTÁR ÉS INFORMÁCIÓS SZOLGÁLAT

I.S.P.H.

INSTITUTUL DE STUDII ŞI PROIECTĂRI HIDROENERGETICE

29, Republicii Blvd., 79669 Bucharest,
Romania,
Phone 147270, Telex 11-443 i. s. p. h. r.

ISPH-Designing Institute with complex profile offers :

SPECIAL ACTIVITIES

- hydrological and hydrogeological studies
- engineering-geological investigations
- geotechnical and geophysical explorations, soil and rock mechanic investigations
- topographical surveys and mapping

SPECIAL SERVICES

- preliminary studies and designs
- feasibility studies
- final designs
- detailed construction drawings
- tender documents and contracts
- inspection and supervision
- expert's reports

RIVER BASIN DEVELOPMENT STUDIES

- hydroelectric developments
- multipurpose hydraulic developments
- special hydraulic structures

ENERGOREPARAŢII

B-dul Mărăşeşti nr. 2, sectorul 4, Bucureşti.
Telefon: 23.26.40. Telex: 011635. - Cod poştal 75117

1988 SEP 0 11

EXECUTA PIESE SI SUBANSAMBLURI DE SCHIMB PENTRU INSTALATIILE ENERGETICE:

- Turbine cu abur şi turbine hidraulice ;
- Cazane de abur şi schimbătoare de căldură ;
- Ventilatoare de aer şi de gaze ;
- Instalaţii pentru prepararea şi transportul combustibilului ;
- Generatoare şi motoare electrice.

PRODUCE MASINI SI DISPOZITIVE DE MECANIZARE, DIVERSE SUBANSAMBLURI SI AGREGATE :

- Macarale MTI-1000, platforme hidraulice, pompe de evacuare a zgurii şi cenuşii.

PRESTEAZA SERVICII, ACORDA ASISTENTA TEHNICA, EXECUTA RECONDITIONARI PENTRU :

- Turbine de mare putere, generatoare şi motoare electrice, cuple hidraulice, armături pentru circuitul de abur, măsurarea vibraţiilor, echilibrări de arbori, analize metalografice şi chimice.

E 2039

ETE

Referatele

R 10 NOV 1988

MW

3

Cuprins

ENERGETICA IN UNITĂŢI ECONOMICE

Colocviu şi masă rotundă — Săvineşti 1987
Introducerea acţionărilor cu turaţie reglabilă pentru pompe, ventilatoare, compresoare — cale de economisire a energiei electrice 97

REFERATE

ION GEORGESCU: **Economii de energie prin acţionarea cu turaţie variabilă a pompelor şi ventilatoarelor în automatizarea proceselor tehnologice** 99

GÜNTHER WEINRICH, MIRCEA LUNGU, ŞTEFAN STĂICULESCU, RADU ŢIUCRA: **Acţionări electrice reglabile pentru pompe şi ventilatoare. Stadiul şi tendinţele pe plan mondial şi în R. S. România** 110

ION DAN, VIORICA ŞERBU, CONSTANTIN ZAMFIRESCU, DAN TOMOZEI, CRISTIAN GHEORGHIU: **Acţionări electrice reglate de putere cu motoare sincrone comandate prin convertizoare statice de frecvenţă** 126

VASILE CĂRĂŞEL, CĂLIN PREDESCU: **Realizări privind echipamentele de acţionări reglabile pentru pompe, ventilatoare şi compresoare la Institutul de Cercetări Ştiinţifice şi Inginerie Tehnologică — Maşini, Transformatoare şi Aparataj Electric şi Întreprinderea Electroputere Craiova** 136

NOUTĂŢI

DIN ENERGETICA MONDIALĂ 141

VOLUMUL XXXVI
BUCUREŞTI
MARTIE 1988

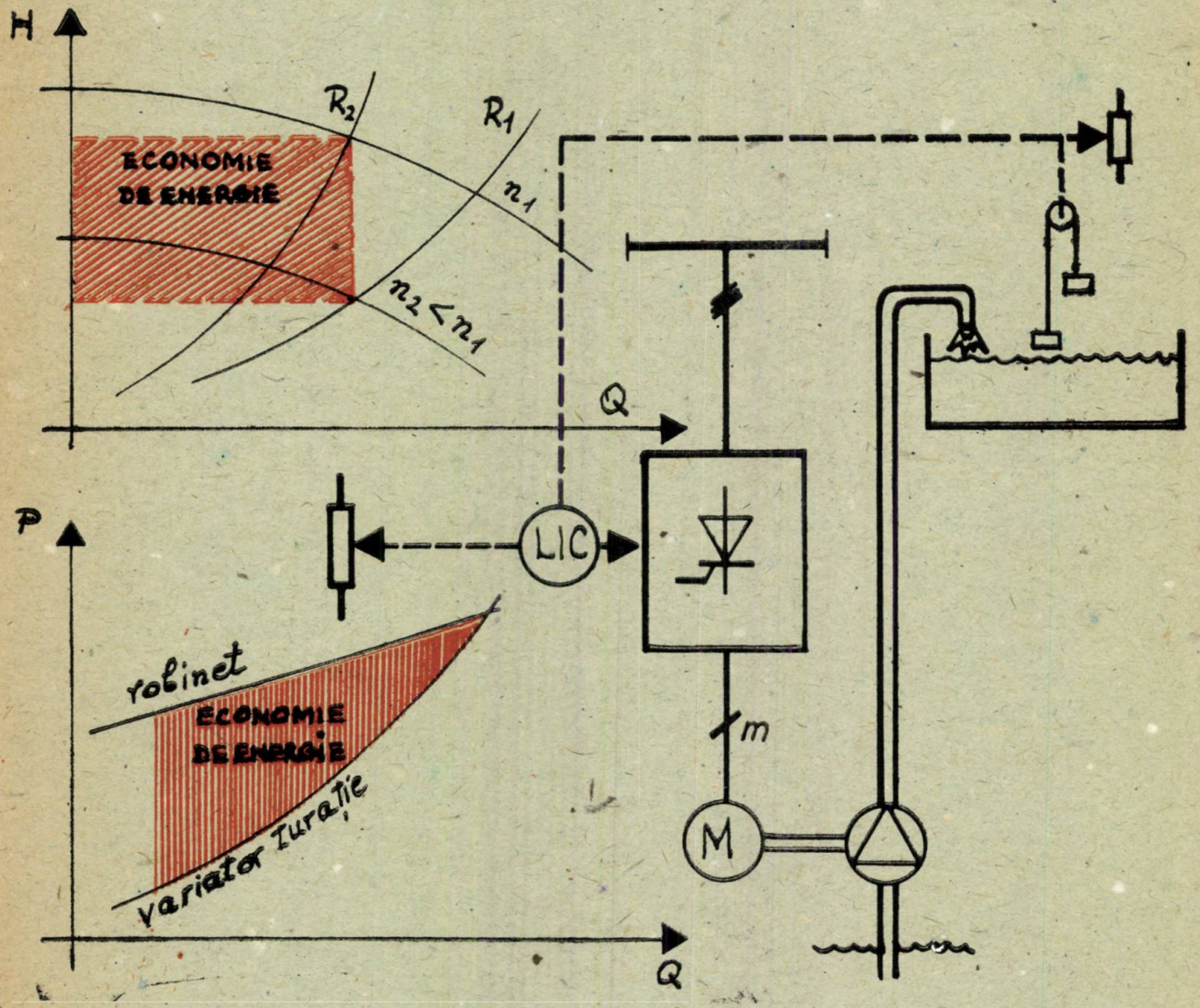
energetica

IPA

INSTITUTUL DE CERCETARE ŞTIINŢIFICĂ ŞI INGINERIE TEHNOLOGICĂ PENTRU AUTOMATIZĂRI

BUCUREŞTI, CL. FLOREASCA 167, CONT VIRAMENT BN-RSR FIL. SECTOR 1 301.700.301
TELEX 11 907 C 69 TEL. 33.00.69

Economisiţi energia prin acţionarea cu turaţie variabilă a pompelor şi a ventilatoarelor



IPA asigură analiza problemei dv. tehnologice şi proiectarea echipamentelor electronice şi a instalaţiilor de acţionare cu turaţie variabilă a utilajelor, în scopul reglării parametrilor tehnologici în condiţii de consum minim de energie.

În baza unei experienţe de aproape 30 de ani, IPA elaborează :

—proiecte de acţionări electrice reglabile pe baza seriilor de convertizoare statice concepute de IPA şi fabricate de Întreprinderea Electrotehnica;

—lucrări de cercetare-asimilare pentru echipamente noi de acţionare.

ENERGETICA

ORGAN AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE ŞI AL CONSILIULUI NAŢIONAL AL INGINERILOR ŞI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

SUB ÎNDRUMAREA CONSILIULUI ŞTIINŢIFIC AL INSTITUTULUI CENTRAL DE CERCETĂRI ENERGETICE

Anul 36 Nr. 3 Martie 1988

MŰSZAKI INFORMÁCIÓS SZOLGÁLAT KÖNYVTÁR 1983

Energetica în unităţi economice

Colocviu şi masă rotundă—Săvineşti 1987

Introducerea acţionărilor cu turaţie reglabilă pentru pompe, ventilatoare, compresoare—cale de economisire a energiei electrice

În ziua de vineri, 20 noiembrie 1987, Combinatul de Fibre Sintetice (CFS) a fost gazda binevoitoare a unui colocviu şi a unei mese rotunde cu tema „*Introducerea acţionărilor cu turaţie reglabilă pentru pompe, ventilatoare, compresoare — cale de economisire a energiei electrice*".

Manifestările au fost organizate din iniţiativa Comitetului Naţional pentru Ştiinţă şi Tehnologie, care, împreună cu Ministerul Industriei Chimice şi Petrochimice — CFS Săvineşti, cu Ministerul Energiei Electrice — ICCE şi cu revista Energetica au asigurat condiţiile unei bune pregătiri pentru discutarea unei asemenea probleme de interes major pentru ţara noastră, atît din punct de vedere tehnico-ştiinţific, cît şi economic. În cadrul revistei Energetica a contribuit la organizare grupa „Energetica în unităţi economice" (ing. Ion Măiereanu, ing. Angela Perea).

Au participat peste 60 specialişti de înaltă calificare, cercetători, proiectanţi, profesori, cadre de conducere, specialişti din producţie, care au confirmat, prin luările de cuvînt, interesul pentru problematica pusă în discuţie.

Lucrările au fost conduse de dr. ing. Jean Constantinescu, membru al colegiului de redacţie al revistei şi lucrător în cadrul CNST. Participanţii au fost salutaţi de ing. Dumitru Ţimpoc, directorul tehnic al CFS-Săvineşti, în calitate de gazdă.

Pentru asigurarea bazei de discuţie, au fost prezentate referate, care au dezvoltat aspectele tehnice şi economice privite atît din unghiul de vedere al producătorului acestui fel de echipamente, cît şi din cel al utilizatorului.

Discuţiile s-au desfăşurat în special în cadrul mesei rotunde, la care au participat şi şi-au spus punctul de vedere mulţi specialişti din diferite institute de cercetare şi proiectare, precum şi din unităţi economice de fabricaţie şi utilizatoare de pompe, ventilatoare, compresoare şi altele.

Ca de obicei, revista Energetica publică în paginile sale referatele prezentate şi punctele de vedere ale participanţilor, aşa cum au fost reţinute de coordonatorii discuţiilor.

Revista pune în continuare paginile sale la dispoziţia tuturor specialiştilor care consideră că au de susţinut un punct de vedere în această problemă.

Din partea redacţiei
Dr. ing. Eugeniu Pavel

CUVÎNT INTRODUCTIV

Reglarea debitelor fluidelor în procesele tehnologice cu ajutorul robinetelor, soluţie cvasigeneralizată în industrie, necesită un supliment de putere (energie) electrică care, procentual, este practic egal cu căderea de presiune pe robinet. Pentru realizarea unei reglări corespunzătoare şi stabile, căderea de presiune pe dispozitivul de laminare a fluidului reprezintă circa 30% din înălţimea de ridicare dinamică a agregatului de pompare.

Pe lîngă dezavantajul pierderii de energie, reglarea debitelor fluidelor cu ajutorul robinetelor prezintă şi alte inconveniente majore, ca de pildă : întreţinere costisitoare ca urmare a uzurii rapide, efecte nedorite în instalaţia tehnologică datorită vibraţiilor sau loviturilor de berbec, spaţiu şi etanşări.

Metoda cea mai eficientă şi mai economică de realizare a variaţiei debitului de fluid este reglarea turaţiei turboagregatului de pompare/comprimare cu ajutorul sistemelor de acţionare cu convertizoare statice, rezultat al progresului înregistrat în ultimii ani în domeniile electronicii de putere şi circuitelor de comandă ale convertizorului.

Prin aplicarea acestei soluţii pot fi obţinute economii anuale de energie electrică de ordinul a 15 — 30%, ţinînd seama de condiţiile diverse privind necesităţile de reglare, duratele de funcţionare şi de unele pierderi suplimentare de energie în motoare şi convertizoare.

De exemplu, la o reducere de 25% a debitului unei pompe centrifugale radiale în raport cu debitul nominal, de 230 m^3/h, reducerea de putere absorbită din reţeaua electrică este de circa 45% faţă de reglarea prin robinet.

În aceeaşi ipoteză de reglare a debitului, la pompele centrifugale diagonale şi axiale reducerile de putere sînt cuprinse între 25 şi 45%.

Aria de aplicabilitate a acţionărilor reglabile cu convertizoare pentru pompe, ventilatoare şi compresoare cuprinde practic toate ramurile economiei naţionale.

Ţinînd seama de faptul că în domeniul circulării şi comprimării fluidelor se înregistrează aproximativ 40% din consumul de energie electrică la nivelul economiei naţionale, acestei noi tehnologii îi va reveni în viitor un aport major în cadrul acţiunilor de economisire a energiei electrice.

În legătură cu aplicarea acţionărilor reglabile cu convertizoare, pe lîngă opinia generală a specialiştilor, care reflectă un interes deosebit, îşi fac loc unele ezitări, justificate dacă se are în vedere faptul că acţiunea va implica echipamente de bază din industrie.

Principalele probleme care se pun sînt analizate sub diferite aspecte în lucrările prezentate în acest număr special al revistei. Acestea se referă la modul în care echipamentele realizate pînă în prezent în ţară satisfac cerinţele tehnologice, la tendinţele pe plan internaţional, la măsurile ce trebuie întreprinse pentru combaterea unor efecte negative care rezultă prin introducerea noilor acţionări (armonici, reducerea ventilaţiei motoarelor etc.) şi în special, la economiile reale de energie posibil de obţinut în diverse domenii.

Dr. ing. Jean Constantinescu

Economii de energie prin acționarea cu turație variabilă a pompelor și ventilatoarelor în automatizarea proceselor tehnologice

Ing. Ion Georgescu*

Descriptori: economii de energie, acționări cu turație variabilă, pompe, ventilatoare, automatizări

Automatizarea proceselor tehnologice este un instrument de bază în modernizarea, perfecționarea și conducerea optimală a proceselor de fabricație din punctul de vedere al randamentului productivității muncii, consumului de materiale și energie și de aceea este larg răspîndită și constituie preocupare principală în toate ramurile industriale.

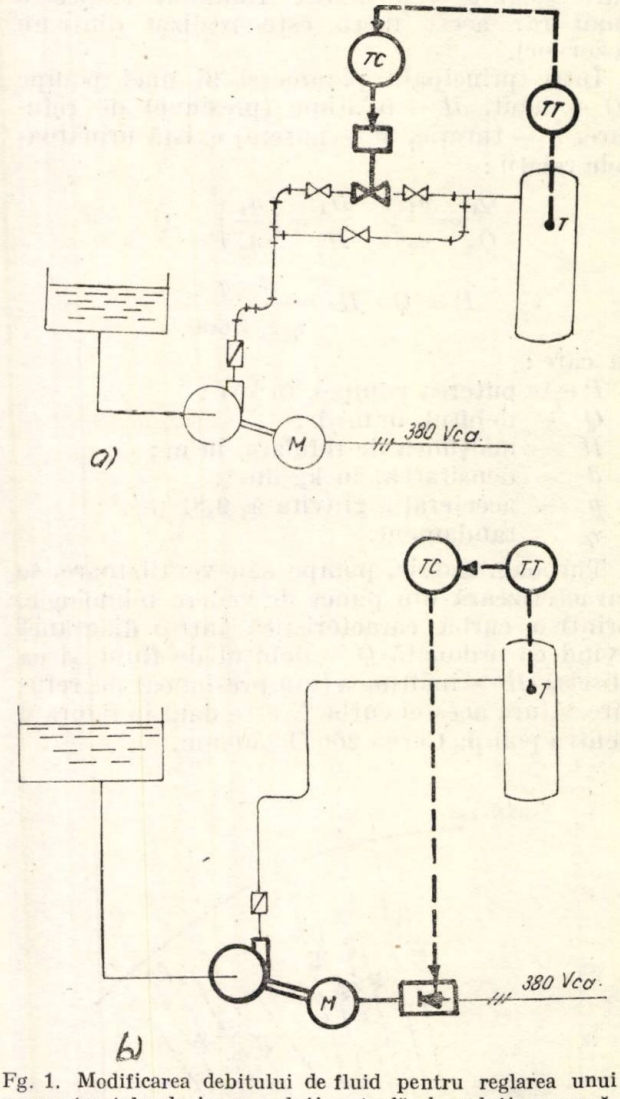
Un rol de bază în automatizare, cu enorme efecte economice — ce pot atinge ordinul zecilor de miliarde de lei anual — îl are reglarea automată a principalilor parametri din procesul tehnologic (temperaturi, presiuni, niveluri, debite, densități, conținuturi chimice etc.).

Nu există o evidență a numărului de bucle de reglare automate existente în industrie, dar o apreciere aproximativă și personală situează acest număr între 10000 și 20000.

Procesele tehnologice necesită, de regulă, o reglare precisă (circa 1%) și stabilă a parametrilor, așa încît calculul și alegerea elementelor au o mare importanță. Calitatea reglării depinde de componentele buclei formată din trei elemente principale : elementul de măsură (traductorul), elementul de prelucrare a informației și de comandă (regulatorul) și elementul de execuție (fig. 1).

Elementul de execuție acționează pentru menținerea constantă a parametrului respectiv, în marea majoritate a buclelor asupra modificării debitului unui fluid (lichid tehnologic, abur, apă, combustibil, gaze etc.). Actualmente, această modificare de debit se realizează aproape exclusiv prin strangularea debitului de fluid cu un robinet zis „de reglare" și foarte rar prin by-pass sau alte metode (palete orientabile, variația turației etc.).

Un astfel de robinet are o construcție specială, caracterizată, în principal, printr-o anumită funcție de transfer, printr-o curbă caracteristică reprezentînd relația dintre cursa elementului de strangulare și debit; această relație este, de regulă, proporțională sau exponențială; ea trebuie stabilită și realizată cu precizie, pentru a se integra și a face față în bune condiții exigențelor unei bune reglări.



Fg. 1. Modificarea debitului de fluid pentru reglarea unui parametru tehnologic : *a* — soluția actuală ; *b* — soluția propusă.

Ca urmare, proiectarea, realizarea și menținerea formei elementului de strangulare este o problemă delicată și pretențioasă. Pentru realizarea acestor curbe caracteristice și pentru a face față condițiilor tehnologice foarte diferite, s-a creat o gamă largă de elemente de strangulare : ventile (de diferite forme), clapete, jaluzele, cilindri etc., din care proiectantul trebuie să aleagă soluția cea mai convenabilă. Pentru o funcționare corectă și pentru evitarea unei

* Ing. Ion Georgescu — Institutul de Cercetare Științifică și Inginerie Tehnologică pentru Automatizări, București.

funcționări instabile sau periculoase, robinetele de reglare se dimensionează și se aleg cu grijă după calcule bazate pe indicele Cv (familie de formule puse la punct de firma Masoneinlan și adoptate pe plan mondial), care urmărește ca în anumite condiții de presiune, debit și densitate să asigure caracteristica de reglare.

Din punctul de vedere al integrării în fluxul tehnologic, robinetul de reglare se află amplasat, în marea majoritate a cazurilor, în circuitul unui turboagregat, pompă sau ventilator centrifugal, care asigură vehicularea fluidului respectiv (mai rar acest lucru este realizat dintr-un rezervor).

Între principalii parametri ai unei pompe (Q — debit, H — înălțime (presiune) de refulare, n — turație, P — putere) există următoarele relații :

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2}; \quad \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \quad \text{și}$$

$$P = Q \times H \cdot \frac{d \times g}{\eta \times 3600},$$

în care :

P este puterea pompei, în kW ;
Q — debitul, în m³/h ;
H — înălțimea de refulare, în m ;
d — densitatea, în kg/dm³ ;
g — accelerația gravitată, 9,81 m/s² ;
η — randament.

Turboagregatele, pompe sau ventilatoare, se caracterizează din punct de vedere tehnologic, printr-o curbă caracteristică într-o diagramă avînd ca ordonată Q — debitul de fluid și ca abscisă H — înălțimea (sau presiunea) de refulare. Alura acestei curbe N este dată în figura 2 pentru pompa Cerna 200 Ø 330 mm.

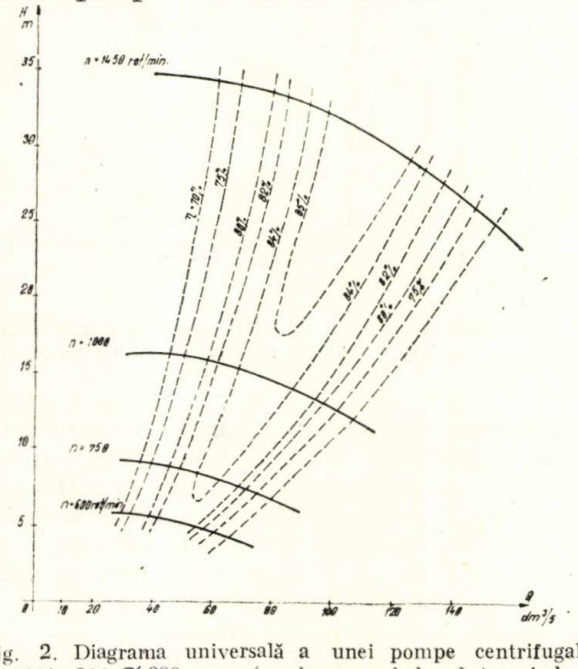


Fig. 2. Diagrama universală a unei pompe centrifugale CERNA 200 ⌀ 330 mm (pe baza curbelor Intreprinderii Aversa).

Pentru diferite diametre d_1, d_2 sau pentru diferite turații n_1, n_2 ale rotorului se formează o familie de curbe asemănătoare (modificarea diametrului este echivalentă cu schimbarea turației). Diagramele cu aceste curbe sînt stabilite și asigurate de fabrica producătoare a turboagregatului ; pe aceeași diagramă producătorul figurează și curbele echipotențiale ale randamentului turboagregatului respectiv.

Caracteristica rețelei R formată din suma căderilor de presiune dinamice datorită rezistențelor, frecărilor $H_r = \Sigma R_i Q_i$ pe diferitele elemene ale circuitului (frecări de perete, coturi, elemente de strangulare, robinete etc.) poate fi reprezentată pe aceeași diagramă sub forma unei parabole cu originea în zero sau deplasată în sus pe ordonată în cazul existenței unei presiuni statice. Caracteristica rețelei este determinată de proiectantul ei. Prin modificarea rezistenței rețelei, de exemplu prin deschiderea sau închiderea unui robinet, se modifică și caracteristica rețelei păstrînd aceeași alură ; se formează astfel o familie de caracteristici. (fig. 3).

Punctul de funcționare a circuitului, A, rezultă din intersecția curbei caracteristice a pompei N cu caracteristica rețelei R. Acestui punct îi corespunde un debit Q_A și o înălțime

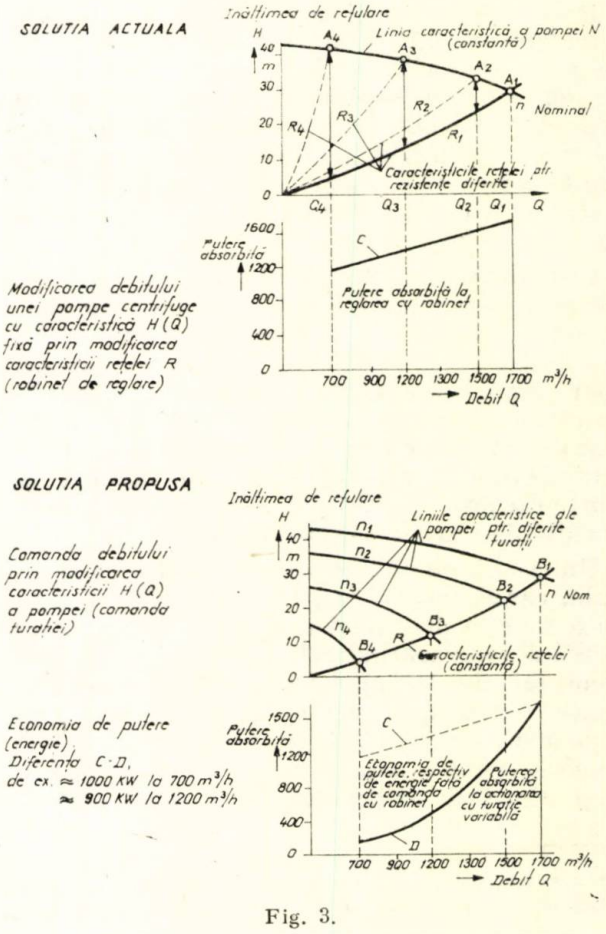


Fig. 3.

de refulare H_A. Pentru diferite caracteristici de rețea R_1, R_2, R_3, R_4, rezultate de exemplu prin variația cursei ventilului unui robinet de reglare, punctul de funcționare se deplasează pe caracteristica fixă a pompei N în punctele A_1 A_2, A_3, A_4, realizîndu-se astfel modificarea debitului de fluid Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, dar rezultînd și modificările corespunzătoare ale înălțimii de refulare H.

Un exemplu concret de reglare este dat în figura 4, și anume o buclă de reglare a densității unui lichid (tulbureală cu minereu de cupru) prin variația debitului de apă vehiculat de o pompă centrifugă.

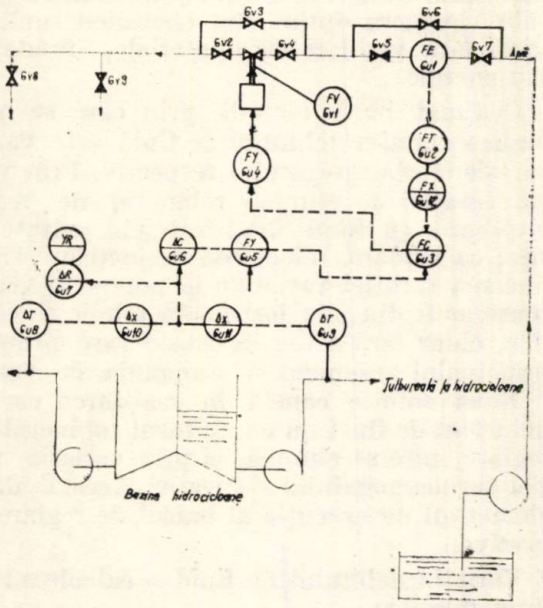


Fig. 4. Reglare bazine hidrocicloane. Uzina de preparare minereuri cupru: 6u1—detector electromagnetic de debit 6u2— adaptor pentru detectorul electomagnetic de debit ;6u3, 6u6—regulatoare electronice continue; 6u4—poziționer electropneumatic; 6u5—aparat comutator; 6u7—aparat înregistrator; 6u8, 6u9 — traductoare electronice de densitate; 6u10—6u12—separatoare galvanice; 6v1—robinet de reglare ;6v2—6v7—robinete; 6v8, 6v9—robinet electromagnetice.

Semnalul unificat (4—20 mA) dat de traductorul de măsură 6U9 este introdus în regulatorul automat 6U6 al cărui semnal de ieșire (tot unificat) comandă elementul de execuție; în cazul de față acesta este un robinet de reglare cu servomotor pneumatic, poziționarea lui corectă fiind asigurată de un poziționer electropneumatic 6U4 în care se introduce semnalul de comandă dat de regulator.

Pentru a realiza o bună variație a debitului de fluid și o reglare corespunzătoare a parametrului respectiv, robinetul de reglare se calculează și se alege conform indicațiilor firmelor constructoare, astfel încît în punctul de lucru să existe pe el o cădere de presiune H_r care să fie circa 50% din H_i—căderea de presiune în instalație (fără el).

$$H_r = \frac{1}{2} H_i \quad \text{sau} \quad H_r = \frac{1}{3} H_t.$$

Astfel, în lipsa reglării și a robinetului de reglare respectiv, pentru circuitul hidraulic dat, punctul de funcționare pe diagama $Q-H$ (fig. 5) este în A_1 aflat pe caracteristica de rețea R_1, și pe o caracteristică de pompă N_1 și caracterizat prin debitul Q_i și înălțimea de refulare H_i. În cazul introducerii robinetului de reglare

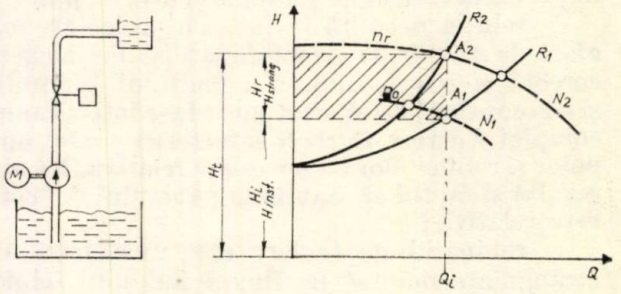


Fig. 5. Modificarea debitului prin robinet (strangulare).

caracteristica rețelei se schimbă și devine R_2; pentru obținerea aceluiași debit Q_1, punctul de lucru se deplasează în A_2 și pompa cu caracteristica N_2 trebuie să asigure o înălțime de refulare mai mare $H_t = H_i + H_r = \frac{3}{2} H_i$ (la utilizator fluidul ajunge cu aceleași caracteristici de debit și presiune ca și mai înainte).

Prin introducerea robinetului de reglare se înregistrează deci un necesar suplimentar de putere $P = kQ_i^3 \times H_r$ reprezentat în figura 5 de suprafața hașurată.

În cazul în care modificarea debitului s-ar realiza prin by-pass (fig. 6) punctul A_1 s-ar deplasa în A_3, înălțimea de refulare ar fi aceeași H_i, deși debitul vehiculat de pompă ar fi $Q_t = Q_i + Q_{by-pass}$; puterea suplimentară, consumată inutil (ca și în cazul precedent) este

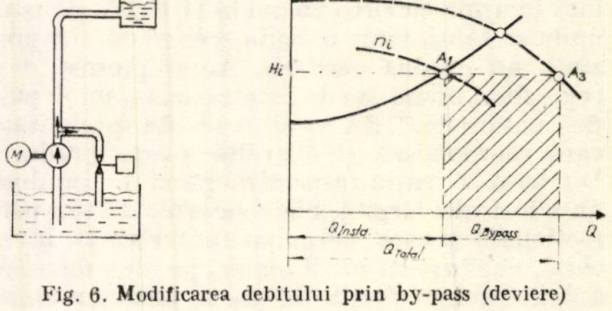


Fig. 6. Modificarea debitului prin by-pass (deviere)

dată de $P = kH_i \times Q_{by-pass}$ (reprezentată pe figura 6 de suprafața hașurată) și este chiar mai mare decît în soluția precedentă cu robinet.

În circuitul hidraulic sau pneumatic în care este montat, robinetul reprezintă un element dificil.

Soluția de variație a debitului de fluid cu ajutorul unui robinet de reglare, deși larg răs-

pîndită pînă acum, prezintă o serie de inconveniente majore :

— în circuitul hidraulic sau pneumatic în care este montat robinetul reprezintă un element dificil în exploatare ;

— prin însăşi introducerea lui în circuit, el reprezintă o rezistenţă pe care se produce o importantă cădere de presiune şi deci de putere ;

— soluţia necesită în faza de proiectare un efort de calcul, de dimensionare şi de alegere corectă a robinetului, a circuitului hidraulic şi a pompelor ; acest efort nu se face întotdeauna complet şi corect. Curbele caracteristice ale pompelor şi robinetelor au o valoare relativă. De aici rezultă şi faptul că stabilirea punctului de lucru este relativă ;

— robinetul de reglare este un element de strangulare montat pe fluxul fluidului tehnologic respectiv, eare, de regulă, este agresiv (corosiv, abraziv, fierbinte), ceea ce face ca el să fie repede deteriorat de acesta şi să necesite, deci, o întreţinere periodică costisitoare (la circa 3—6 luni sau chiar mai des), întreţinere strict necesară pentru menţinerea caracteristicii de reglare şi deci a randamentului instalaţiei ;

— intercalarea robinetului pe conductă pune probleme de montaj, uneori prin spaţiul pe care îl necesită şi prin greutatea sa şi mai întotdeauna prin etanşările (sau neetanşările) pe care le implică ; de asemenea, trebuie semnalat faptul că pentru a realiza operaţiile dese de întreţinere fără oprirea instalaţiei este necesar ca pentru by-passarea sa să se monteze încă o baterie de trei robinete manuale de aceleaşi dimensiuni ;

— strangularea pe care o produce robinetul de reglare conduce în aval de acesta uneori la zgomote, vibraţii sau lovituri de berbece cu efecte nedorite în instalaţia tehnologică ;

— robinetele de reglare se fabrică în ţară după o licenţă a firmei Gulde (R.G.F.) asimilată în urmă cu circa 20 ani la IUP Tîrgovişte, unde se fabrică într-o secţie secundară şi reprezintă un produs periferic. Acest produs, deşi reprezintă un mijloc de automatizare, nu depinde ca atare de CIEA — centrala de specialitate care coordonează şi dezvoltă aceste produse. Din această cauză respectiva gamă de produse nu a fost nici lărgită, nici modernizată sau perfecţionată şi este actualmente restrînsă, învechită, depăşită ca nivel tehnic, pe plan mondial apărînd noi generaţii. De aceea, pentru a satisface nevoile foarte diverse din industrie, un număr destul de ridicat de robinete de reglare a trebuit să fie procurate din import.

În practică, la punerea în funcţiune sau în exploatare rareori parametrii reali corespund cu cei proiectaţi. De aici rezultă că punctul de funcţionare real al circuitului tehnologic poate fi destul de depărtat de cel proiectat iniţial. Rezultă o proastă funcţionare a instalaţiei şi necesitatea modificării fie a caracteristicii reţelei prin închiderea sau înlocuirea robinetului (pierderi suplimentare), fie a caracteristicii pompei prin schimbarea diametrului rotorului sau a pompei. Chiar aşa, atingerea punctului de funcţionare dorit este ipotetică, datorită adaptării în trepte. Toate acestea conduc la cheltuieli suplimentare, la întîrzieri şi în final la pierderi importante de randament, materiale şi energie. Este necesară deci o soluţie care să permită adaptarea rapidă, uşoară şi continuă la condiţiile concrete şi aceasta este oferită numai de variaţia turaţiei turboagregatului, care înlătură toate aceste neajunsuri, reglarea turaţiei permiţînd atingerea uşoară şi imediată a punctului de lucru optim fără cheltuieli suplimentare, fără pierderi de materiale, randament sau energie.

Cea mai bună metodă prin care se poate realiza variaţia debitului de fluid este variaţia turaţiei turboagregatului respectiv. Prin variaţia turaţiei se elimină robinetul de reglare, împreună cu toate dezavantajele arătate mai sus ; ca urmare, înlocuirea robinetelor şi introducerea turaţiei variabile la pompe şi ventilatoare ar fi din plin justificată tehnic şi economic, chiar fără a lua în considerare primul şi principalul argument — economia de energie.

Noua soluţie constă în realizarea variaţiei debitului de fluid nu cu ajutorul robinetului de reglare, care se elimină, ci prin variaţia turaţiei turboagregatului respectiv. Acesta devine elementul de execuţie al buclei de reglare respective.

Variaţia debitului de fluid se calculează conform relaţiei :

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{Q_1}{Q_2}$$

şi este direct proporţională cu variaţia turaţiei turboagregatului, care este comandată direct de regulatorul din bucla de reglare automată. Fiecare pompă sau ventilator are o familie de caracteristici la diferite turaţii, aşa cum se vede din figura 7. Modificarea debitului nu se va mai face prin modificarea caracteristicii reţelei şi a deplasării punctului de funcţionare A pe caracteristica fixă a pompei (ca la turaţie

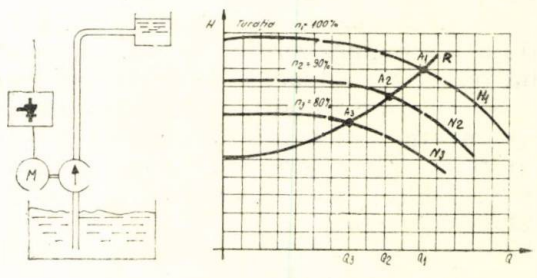


Fig. 7. Modificarea debitului prin variaţia turaţiei.

constantă), ci se va realiza datorită deplasării punctului de funcţionare în A_1, A_2, A_3 prin modificarea caracteristicii pompei N_1, N_2, N_3 (la diferite turaţii n_1, n_2, n_3) pe caracteristica fixă a reţelei R.

Revenind la exemplul prezentat în figura 5, prin eliminarea robinetului de reglare şi modificarea turaţiei şi a caracteristicii pompei de la N_1 la N_2, punctul de funcţionare va coborî pentru acelaşi Q_t din punctul A_2 în punctul A_1 corespunzător unei înălţimi de refulare H_t redusă cu căderea de presiune pe robinetul de reglare eliminat H_r. Noul punct de funcţionare se află pe caracteristica de reţea fără robinet R_1 şi corespunde unei turaţii $n_1 < n_2$.

Considerînd bucla de reglare, schimbarea este foarte simplă, semnalul de comandă dat de regulator se introduce în convertorul de turaţie (în locul robinetului), echipament de sine stătător, produs ca atare. În cazul unui echipament electronic, acesta se conectează între motorul pompei şi reţeaua de forţă. Fiind comandat de un semnal unificat (în tensiune 0—10 V sau curent 4—20 mA), convertizorul de turaţie poate fi comandat şi de la un calculator de proces sau de la un element de comandă manuală. De la el se pot transmite la nivelul superior date importante : curentul absorbit, tensiunea, turaţia. Dacă este necesară funcţionarea mai multor pompe în paralel se poate face varierea turaţiei unei singure pompe (celelalte funcţionînd la turaţia normală), convertizorul de turaţie putînd fi comutat automat la oricare din pompe.

Faţă de soluţia cu robinet de reglare, prin variaţia turaţiei se obţine o economie de putere (energie) la motorul pompei $P = k\,Q_t \times H_r$. Avînd în vedere că puterea este direct proporţională cu înălţimea de refulare $\frac{P_1}{P_2} = \frac{H_t}{H_t}$ rezultă că pentru $H_t = \frac{2}{3} H_t$, $P_1 = \frac{2}{3} P_2$, adică se obţine o economie de energie de 33%.

În soluţia cu by-pass necesarul suplimentar de putere $P_B = kQ_B \times H_t$ (fig. 6) şi deci pierderea de energie este chiar mai mare decît în soluţia cu robinet.

Acelaşi lucru rezultă şi din figura 8, în care se prezintă curbele de variaţie a puterii pompei funcţie de variaţia debitului de lichid în cele trei soluţii : (a) prin by-pass, (b) prin robinet şi (c) prin variaţia turaţiei. Se evidenţiază clar puterea mult mai redusă consumată în cazul soluţiei (c) şi economia mare de energie ce se obţine în această soluţie faţă de precedentele două.

Acest lucru rezultă şi din figurile 8a şi 8b şi din exemplul valoric prezentat mai jos şi ilustrat în figura 9.

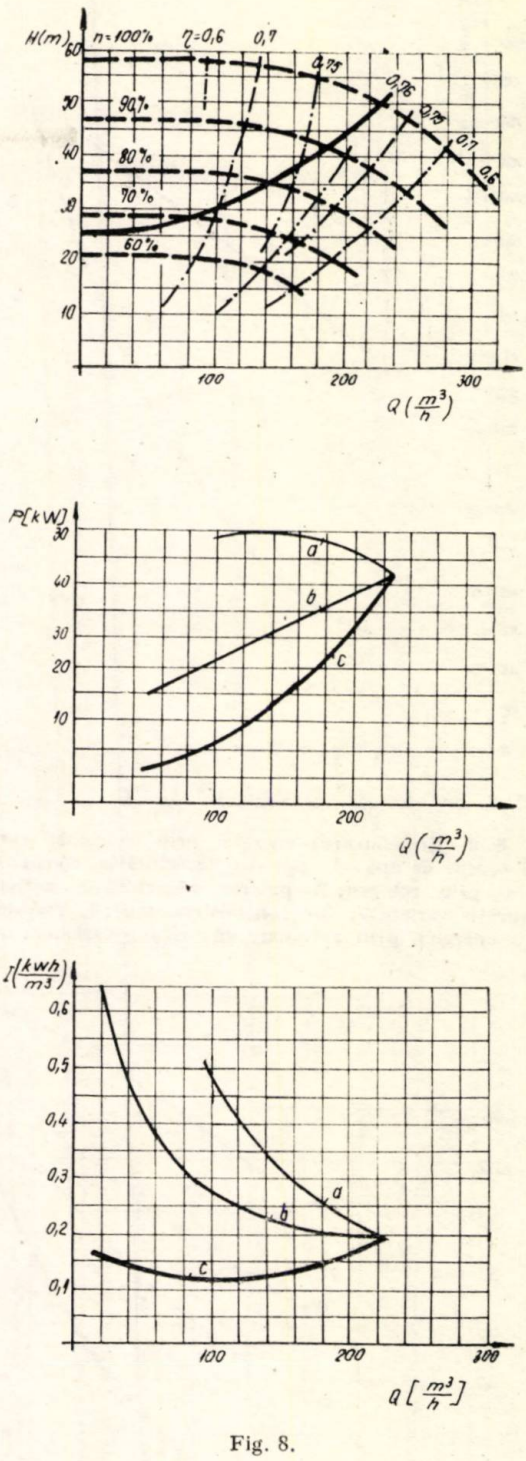


Fig. 8.

— Punct de lucru A_1

$$Q_1 = 230 \text{ m}^3/\text{h},\quad H = 51{,}5 \text{ m},\quad \eta = 0{,}76,$$

$$d = 1 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$$

$$P = \frac{230 \times 51{,}5 \times 1 \times 9{,}81}{0{,}76 \times 3600} = 42{,}47 \text{ kW}$$

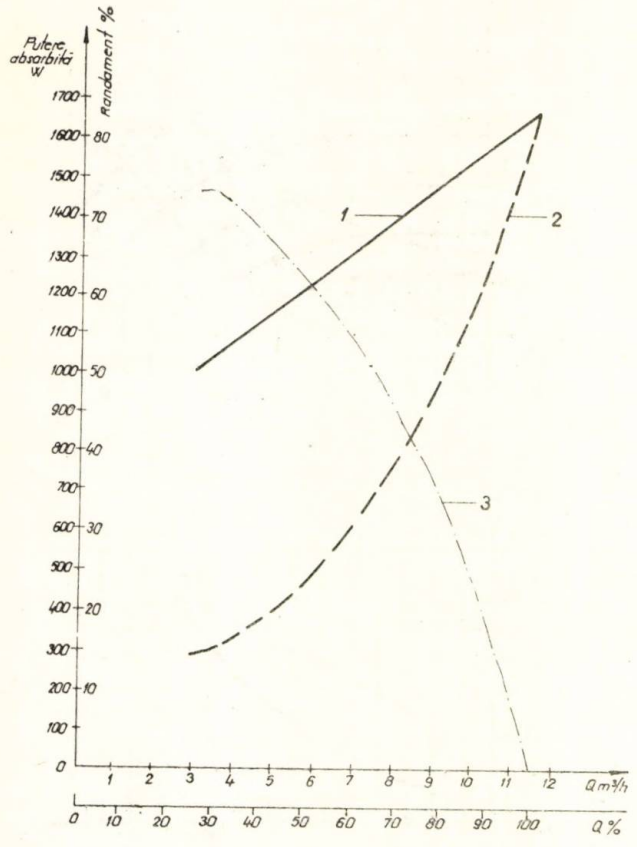


Fig. 8 a. Economisirea energiei prin comanda turației unei pompe de apă: 1—puterea absorbită la comanda debitului prin robinet; 2—puterea absorbită la acționarea cu turație variabilă; 3—economisirea puterii, respectiv a energiei, prin acționare cu turație variabilă.

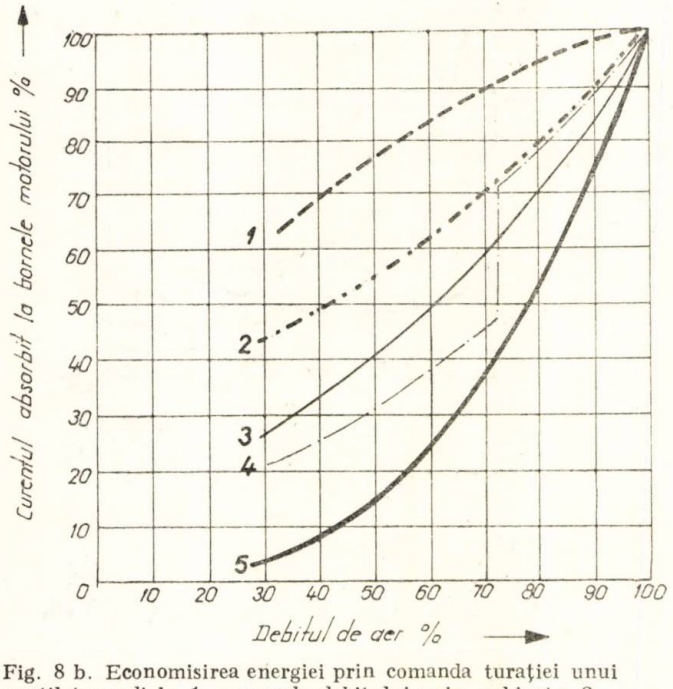


Fig. 8 b. Economisirea energiei prin comanda turației unui ventilator radial: 1—comanda debitului prin robinet; 2—reglarea unghiului paletei ventilatorului la turație constantă; 3—comanda turației cu reostat; 4—reglarea combinată a turației și a unghiului paletei ventilatorului cu motor cu poli comutabili; 5—comanda continuă a turației electromotorului cu variator electronic.

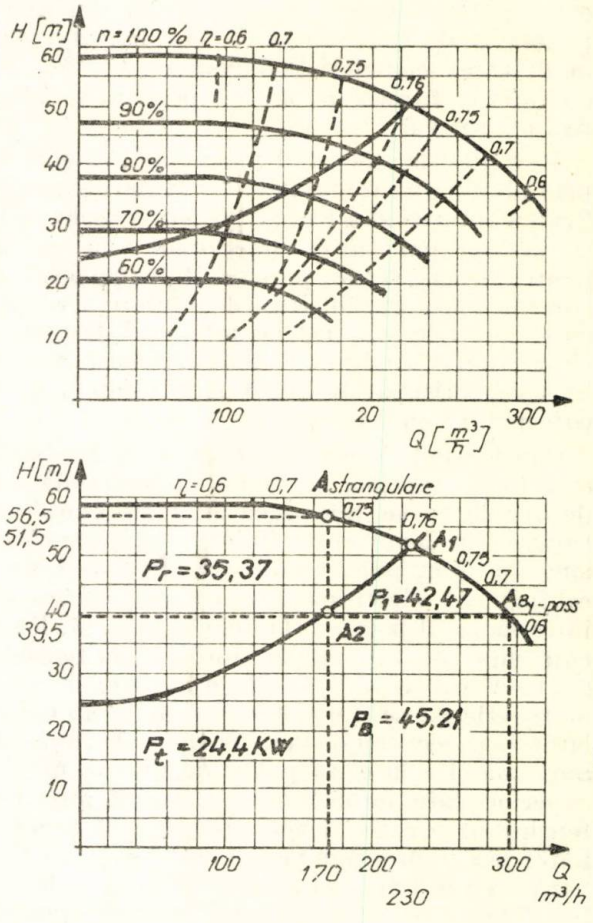


Fig. 9.

Nu se iau în considerare încă randamentul acționării și pierderile în rețea.

Dacă se reduce debitul la 170 m³/h:

— prin by-pass:

$$P_B = \frac{294 \times 39,5 \times 1 \times 9,81}{0,70 \times 3600} = 45,21 \text{ kW};$$

— pentru reglare cu robinet:

$$P_r = \frac{170 \times 56,5 \times 1 \times 9,81}{0,74 \times 3600} = 35,37 \text{ kW};$$

— prin modificarea turației în punctul de lucru A_2:

$$P_t = \frac{170 \times 39,5 \times 1 \times 0,98}{0,75 \times 3600} = 24,4 \text{ kW}.$$

Dacă se consideră o durată de funcționare de 8000 ore/an și la un cost al energiei de 1,4 lei/kWh rezultă următoarele economii:

$E_r = 8000 \times 35,37 \times 1,4 = 396\ 140$ lei;

$E_t = 8000 \times 24,4 \times 1,4 = 273\ 280$ lei.

Diferența este de 122 860 lei/an (tabelul 1).

În practică, de fapt, fiecare instalație de pompe este supradimensionată și lucrează de aceea într-un punct de lucru nerațional. Pompele sînt fabricate și livrate numai în trepte de putere stabilite. Rezultă că pentru a reduce instalația în diferite puncte de funcționare

Tabelul 1

Modul de realizare a reglării	Q [m³/h]	H [m]	η [u.r.]	P [kW]	Cost energie 8000 ore/lei	Consum specific [kWh/m³]
By-pass	294	39,5	0,7	45,21	506 350	0,27
Robinet	170	56,5	0,74	35,37	396 140	0,21
Turaţie	170	39,5	0,75	24,40	273 280	0,14

dorite în exploatare, prin variaţia turaţiei (în speţă prin reducerea ei) se obţine, faţă de celelalte metode, o importantă economie de energie suplimentară (care poate atinge sau chiar depăşi 30%). De aceea, se poate considera, în anumite împrejurări, că economia de energie din exemplul menţionat se poate dubla.

La pompele cu caracteristici mai abrupte economiile sînt şi mai mari.

Prin reglarea turaţiei se pot realiza în bune condiţii funcţiile :

$$Q = f(n),\ Q = f(p) \text{ şi } Q = f(P).$$

În calculul precedent s-a considerat randamentul pompei constant. În fapt, aşa cum rezultă din figura 10, scăderea acestuia este mică, şi anume pentru o variaţie a turaţiei cu 30% randamentul se reduce cu circa 3%.

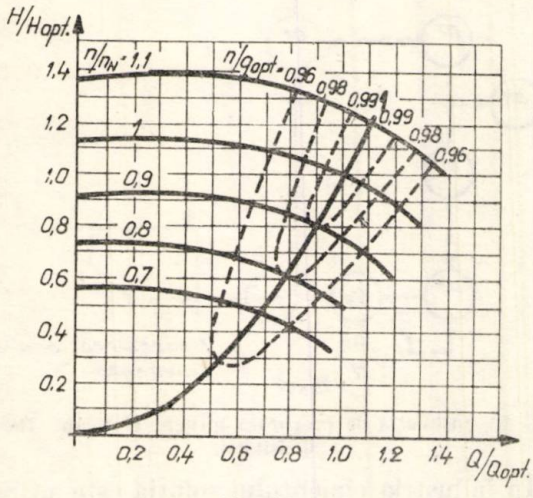


Fig. 10.

Dependenţa randamentului de variaţia turaţiei este dată de relaţia următoare, în care se poate deduce randamentul η_2 în punctul A_2 corespunzător turaţiei n_2, funcţie de randamentul η_1 în punctul A_1, la turaţia n_1.

$$\eta_2 = 1 - (1 - \eta_1)\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^{0,1}.$$

În fapt, la majoritatea pompelor şi în special la cele mari, modificarea randamentului se poate neglija la un domeniu de variaţie a turaţiei de 1/3 din turaţia nominală.

Variaţia turaţiei, după cum se ştie, se poate obţine în mai multe feluri : prin cuplaje (cu variatoare mecanice, hidraulice, electrice) sau prin variaţia turaţiei motorului (există şi alte modalităţi de a obţine o caracteristică asemănătoare — de exemplu înclinarea paletelor ventilatoarelor). Nu se poate face în această lucrare o analiză comparativă tehnico-economică a acestor soluţii, care poate fi ea însăşi obiectul unui studiu. Se ia în considerare variaţia turaţiei motorului electric obţinută printr-un echipament electronic care se intercalează între alimentarea de la reţea şi electromotor. Pentru această soluţie pledează următoarele avantaje :

— poate realiza o variaţie a turaţiei într-o gamă foarte largă pînă la 1 : 10 şi chiar 1 : 100 din turaţia nominală ;

— se poate integra perfect, uşor şi fără modificări, într-o buclă de reglare automată, echipamentul putînd fi comandat de semnalul unificat dat de regulatorul automat ;

— menţine cu precizie turaţia prescrisă ;

— se introduce foarte uşor într-un sistem existent, se montează uşor, nu necesită modificări mecanice, de amplasamente ;

— este o familie de produse de serie ce pot fi fabricate într-un sortiment variat pentru aproape toate genurile de electromotoare de curent continuu şi alternativ şi pentru o gamă largă de puteri ; este produsul principal (nu ca robinetele de reglare) al unor întreprinderi mari, cu experienţă bogată, un produs sigur, ţinut mereu la nivelul tehnicii mondiale de către colective puternice, calificate, de cercetare-dezvoltare (care au această preocupare de peste 25 de ani). Echipamente de acest fel au fost verificate în industrie în diferite ramuri (metalurgie, construcţia de maşini, ciment etc.).

Aceste avantaje compensează din plin dezavantajul unui cost mai ridicat (evaluat între 100 000 şi 1 000 000 lei, funcţie de tipul electromotorului şi de putere).

Introducerea echipamentului electronic de comandă a turaţiei poate duce la pierderi de energie în echipament şi în motor ; aceste pierderi depind de tipul echipamentului şi de raportul faţă de turaţia nominală ; pierderile globale pot fi considerate ca fiind în medie sub 5%. Scăzînd aceste pierderi din economiile arătate mai sus, obţinute din înlocuirea robinetelor de reglare cu variaţia turaţiei, rezultă că se realizează în final o economie globală de circa 25% din puterea sau din energia consumată de turboagregatul respectiv.

Variaţia turaţiei turboagregatelor este utilizată pe plan mondial ; o mare parte din variatoarele electronice de turaţie produse de firme ca Siemens sau AEG (în mare cantitate) sînt destinate acţionării pompelor şi ventilatoarelor.

În ţară, soluţia de reglare prin variaţia turaţiei a fost aplicată în special la iniţiativa IPA,

în diferite ramuri, dar într-un număr foarte restrîns de cazuri. Ca exemple se menţionează unele dintre ele :

— În industria minieră la uzinele de preparare a minereurilor de cupru Moldova Nouă şi Roşia Poieni, în buclele de reglare a nivelului în bazinele hidrocicloanelor unde s-a variat turaţia unor pompe de 250 kW la Moldova Nouă şi de 450 kW la Roşia Poieni, înlocuindu-se robinetele de reglare de construcţie specială (din cauza abrazivităţii fluidului) din import (în valoare de 5 000 $ fiecare). Sînt patru asemenea bucle în funcţiune la Moldova Nouă şi patru în fază de montaj la Roşia Poieni. Instalaţia de la Moldova Nouă a fost livrată de firma americană Wenco (una din cele mai importante din lume în domeniul respectiv), care a adoptat sugestia IPA de înlocuire a robinetului de reglare propus iniţial (fig. 11).

Tot în industria minieră, la instalaţia de preparare de pe platforma Chituc (realizată în colaborare cu firma australiană Mineral Deposit Ltd) o buclă de reglare automată a debitului de material prin variaţia turaţiei unor pompe cu motor de 100 kW (fig. 12) şi o buclă de reglare a densităţii prin variaţia turaţiei unei pompe de 75 kW (fig. 13).

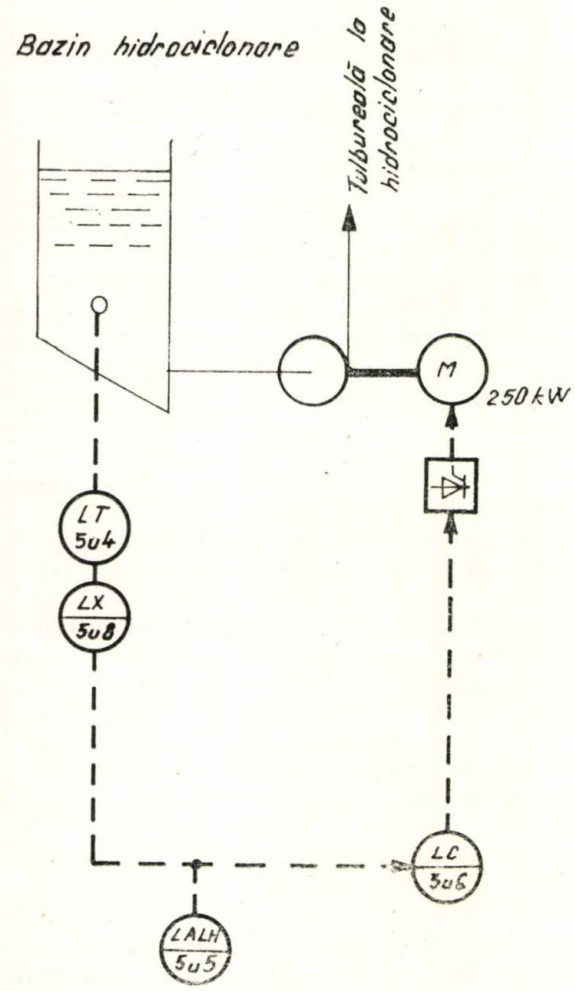


Fig. 11. Reglarea nivelului bazinelor de hidrociclonare. Uzina de preparare minereu de cupru : 5u4—traductor electronic de nivel ; 5u5—regulator electronic tripoziţional ; 5u6—regulator electronic continuu ; 5u8—separator galvanic.

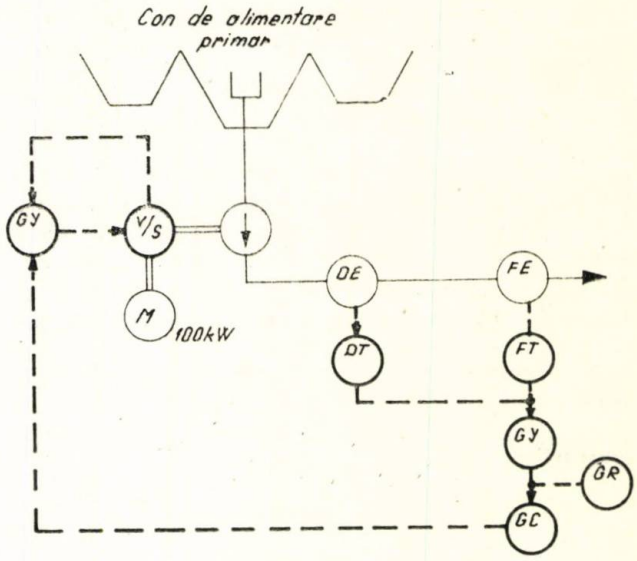


Fig. 12. Instalaţie de preparare minereuri de titan. Reglarea debitului masic de minereu.

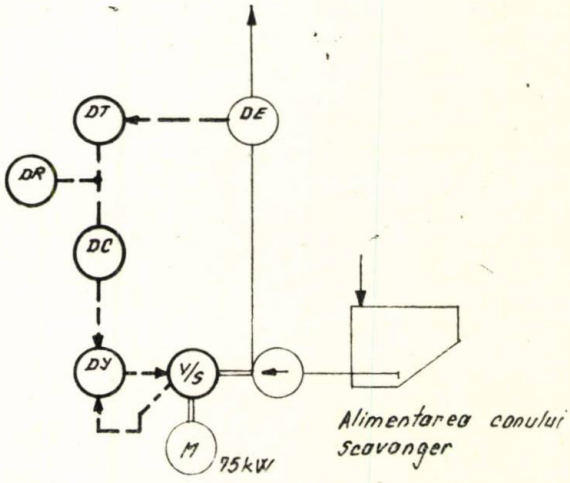


Fig. 13. Instalaţia de preparare minereuri titan. Reglarea densităţii.

În industria cimentului soluţia este utilizată la liniile de 3000 t/zi export în diferite ţări ca Egipt, Irak, la reglarea presiunii gazelor înaintea turnului de răcire prin turaţia exhaustorului cu motor de 400 kW (fig. 14) şi la reglarea automată a temperaturilor prin variaţia turaţiei exhaustorului cuptorului (1400 kW) şi a ventilatorului de by-pass (600 kW) (fig. 15 şi 16). Ele nu sînt introduse în ţară la nici una din cele 11 linii de 3000 t/zi şi circa 35 linii de 1000 t/zi existente. La ele se mai pot adăuga şi reglarea presiunii gazelor la intrarea în moara de făină prin variaţia turaţiei ventilatorului de recirculare moară (1400 kW) (fig. 17) şi reglarea temperaturii gazelor la turn cicloane prin variaţia turaţiei ventilatorului de aer de

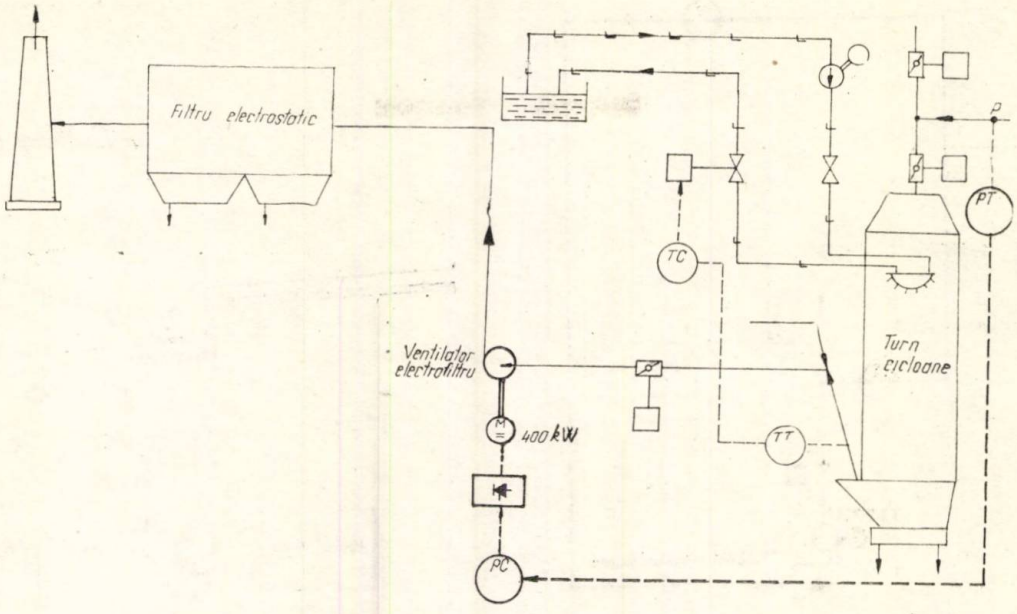


Fig. 14. Fabrica de ciment. Reglarea presiunii gazelor la intrarea în turnul de răcire.

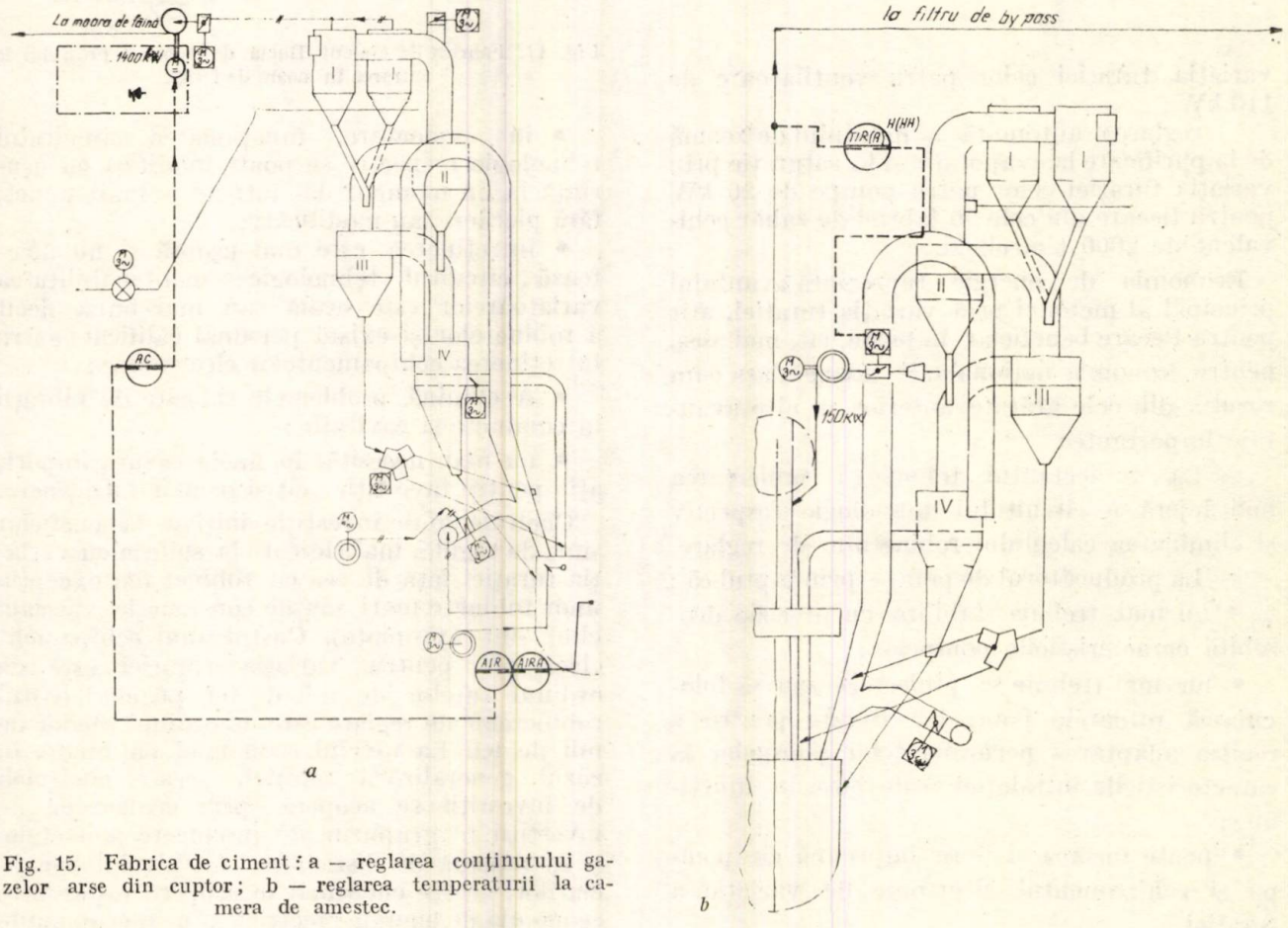


Fig. 15. Fabrica de ciment: a — reglarea conținutului gazelor arse din cuptor; b — reglarea temperaturii la camera de amestec.

diluție (150 kW), precum și alte reglări de pompe cu putere mai mică.

Sînt și alte posibilități de utilizare, din care citez :

— variația turației ventilatoarelor de aeraj principal la exploatările miniere subterane cu puteri de circa 500 kW, funcție de necesități : dezvoltarea minei, încărcarea schimburilor, zile de sărbătoare, temperatura aerului atmosferic etc. ;

— reglarea atmosferei în standul de echilibrare Schenck DU 12 /13 de la IMGB prin

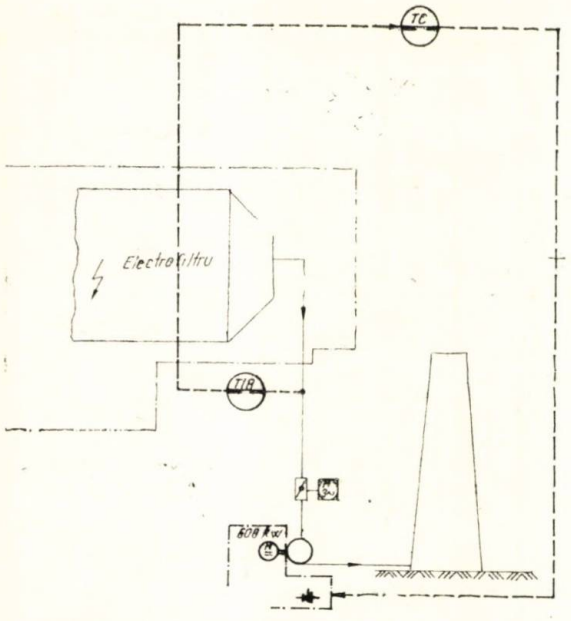


Fig. 16. Fabrica de ciment. Reglarea temperaturii gazelor arse la circuitul by-pass al cuptorului.

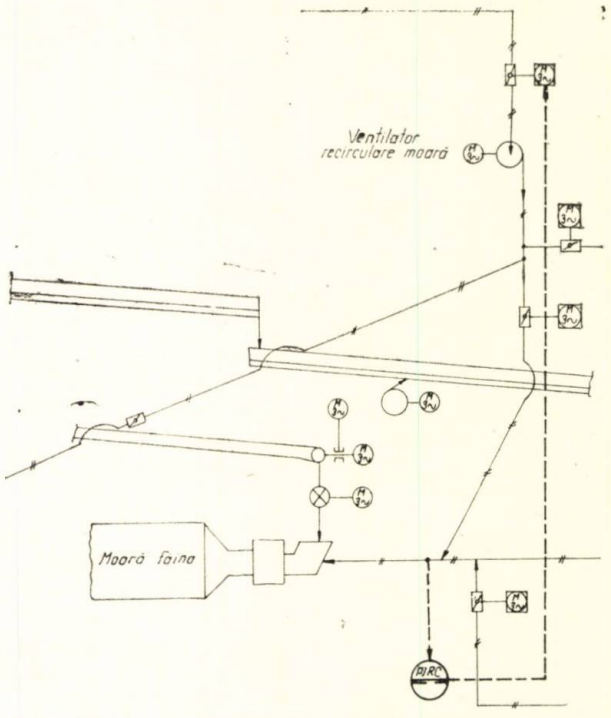


Fig. 17. Fabrica de ciment. Bucla de reglare a presiunii la intrarea în moara de făină.

variaţia turaţiei celor patru ventilatoare de 110 kW ;

— reglarea automată a debitului de zeamă de la purificare la evaporaţie şi la saturaţie prin variaţia turaţiei celor patru pompe de 20 kW pentru fiecare din cele 50 fabrici de zahăr echivalent de 2000 t sfeclă/zi.

Economia de energie reprezintă avantajul principal al metodei prin variaţia turaţiei, atît pentru fiecare beneficiar în parte, cît, mai ales, pentru economia naţională. Se adaugă, aşa cum rezultă din cele arătate anterior, şi alte avantaje importante :

— La proiectantul tehnolog : proiectarea mai lejeră a circuitului tehnologic respectiv şi eliminarea calculului robinetului de reglare.

— La producătorul de pompe prin faptul că :

• nu mai trebuie stabilite cu precizie deosebită caracteristicile pompelor ;

• nu mai trebuie să proiecteze sau să înlocuiască rotoarele pompelor livrate pentru a realiza adaptarea performanţelor pompelor la caracteristicile instalaţiei reale puse în funcţiune ;

• poate încerca şi livra împreună cu pompa şi echipamentul electronic de variaţie a turaţiei.

— La întreprinderea beneficiară :

• la punerea în funcţiune punctul de lucru optim poate fi atins şi menţinut uşor, fără pierderi, fără modificări în instalaţie şi fără cheltuieli sau întîrzieri ;

• în exploatare, funcţionarea circuitului tehnologic respectiv se poate modifica cu uşurinţă la un moment dat într-un anumit punct, fără pierderi sau modificări ;

• întreţinerea este mai uşoară şi nu afectează circuitul tehnologic ; mentenabilitatea variatoarelor este egală sau mai bună decît a robinetelor şi există personal calificat pentru întreţinerea echipamentelor electronice ;

• se elimină problemele ridicate de vibraţii în conducte şi cavitaţie ;

• nu mai necesită, în unele cazuri, import, atît pentru investiţie, cît şi pentru întreţinere.

Cheltuielile de investiţie iniţiale la beneficiar sînt, de regulă, mai ridicate la soluţia cu variaţia turaţiei faţă de cea cu robinet (cu excepţia unor robinete mari sau de construcţie specială cînd sînt apropiate). Costul unui echipament electronic pentru variaţia turaţiei este de ordinul sutelor de mii de lei, pe cînd costul robinetelor de reglare este de ordinul zecilor de mii de lei. La nivelul economiei naţionale, în cazul generalizării soluţiei, aceste cheltuieli de investiţii se acoperă prin economiile de investiţii în grupurile de producere a energiei şi în reţeaua de distribuţie. La nivelul beneficiarilor, aceste cheltuieli se acoperă rapid prin economia de energie electrică şi prin economiile din instalaţia tehnologică. De exemplu, în aplicaţia de la Moldova Nouă, economia anuală de energie obţinută în cazul folosirii pompelor 7000 ore pe an este de :

$$4 \times 0{,}25 \times 250 \times 7000 = 1\,750\,000 \text{ kWh}.$$

Aceste mari avantaje tehnico-economice pledează pentru introducerea și generalizarea urgentă a soluției cu variația turației pentru toate buclele de reglare existente sau în curs de proiectare, care permit această soluție. Utilizarea soluției pare rațională chiar în cazurile în care implică adaptarea corespunzătoare a instalației tehnologice respective, ca de exemplu prevederea mai multor pompe pentru circuit cu o pompă și mai multe robinete de reglare, eliminarea unor recipiente intermediare din care se realizează scurgerea, înlocuirea electromotorului de un anumit tip cu altul (la aplicațiile sus-menționate din industria minieră și a cimentului s-au înlocuit motoarele de curent alternativ cu unele de curent continuu).

Pe plan național, utilizarea noii soluții, în cazul generalizării ei conduce la efecte economice foarte importante.

La nivelul economiei naționale, dacă se apreciază că numărul de acționări care ar intra în această categorie în întreaga industrie ar fi de peste 10 000 și că puterea medie economisită ar fi de circa 25 kW și numărul de ore de funcționare este de 7000 ore de an, se obține o economie de energie de circa 1,75 miliarde kWh și o economie de putere efectivă de aproape 300 MW sau 600 MW putere instalată.

Cheltuielile globale necesare pentru această acțiune se apreciază la circa 3—4 miliarde de lei pentru un cost mediu pe echipament de 3—4 sute de mii lei. Ele se acoperă în primul rînd prin costul grupurilor energetice economisite.

Din păcate, aplicarea acestei soluții în țară este încă foarte restrînsă, cu toate că a fost propusă cu mulți ani în urmă, că s-a mai ținut o masă rotundă pe această temă la CNIT în 1981 (la care toți participanții au apreciat-o pozitiv), că IPA a susținut-o și promovat-o permanent atît prin comunicări la diferite manifestări tehnico-științifice, cît și în activitatea de proiectare. Consider că, în etapa actuală, neutilizarea ei nu se bazează pe motive obiective.

Se impun deci măsuri concrete și hotărîte pentru a promova generalizarea soluției bazate pe variația turației pompelor și ventilatoarelor. Printre măsurile ce trebuie luate, se propun următoarele :

— identificarea circuitelor la care urmează să se aplice această soluție ;

— experimentarea și culegerea de date concrete din unele aplicații în funcție pentru confirmarea estimărilor făcute ;

— elaborarea unui plan și a unor măsuri de generalizare ;

— proiectarea noilor aplicații ;

— asigurarea fondurilor de investiții necesare ;

— asigurarea concepției și producției de echipamente electronice de variație a turației electromotoarelor ;

— asigurarea producției de piese de schimb ;

— școlarizarea personalului de întreținere.

Bibliografie

[1] Bieniek, K., Groning, N. *Die Regelung der Förderleistung von Kreiselpumpen mittels elektronischer Drehzahlverstellung.* In: KSB Technische Berichte, caiet 22, iunie, 1987, p. 16—31.

[2] Kuntz Gerhard. *Hyatronic M, MS — ein elektronisches Regelsystem für Kreiselpumpen mit stufenloser Drehzahlverstellung.* In: KSB Technische Berichte, caiet 22, iunie, 1987, p. 32—38.

[3] Handwerker, Th., Kuch J., Richter H. *Ölhydraulisch-mechanisches Verstellgetriebe mit Mikrocomputer-Regelung für halbaxiale Propellerpumpen im Kühlwasser-Kreislauf eines Kraftwerkes.* In: KSB Technische Berichte, caiet 22, iunie, 1987, p. 39—45.

[4] Kuhn, W., Moll, K. *Umrichter nach dem Unterschwingungsverfahren für industrielle Antriebe.* In: BBC — Nachrichten 65 (1983), nr. 11, p. 375—384.

[5] Masoneinlan. *Comment choisir les vannes de réglage.*

[6] Brown Boveri drive technology. Outline 1987. Axodyn and Veritron drives.

[7] AEG-Telefunken. *Kreiselpumpen mit drehzahlverstellbaren Antrieben.*

[8] Garbe, Lahmeyer: *Acționarea cu turație variabilă comandată electronic, fără pierderi, a motoarelor de curent alternativ — O contribuție pentru economisirea energiei.* Aachen, 10 mart. 1980.

[9] Trescher, H. *Rationelle Energienutzung durch Drehstromantriebe.* In: Elektro-anzeiger, nr. 10, 1986, p. 23—28.

[10] Baumann, H. D. *Comment reduire le bruit engendré par des vannes de réglage.* In: Mesures, vol. 34, nr. 10, oct. 1969.

[11] Smagghe, P., Baumann, H. D. *Calcul du niveau de bruit d'origine aérodynamique des vannes de réglage.* In: Mesures, vol. 36, nr. 4, apr. 1971.

[12] Baumann, H. D. *Why Limit outlet velocities in reducing valves* In: Instruments and Control Systems, sept. 1965.

[13] Papadache, I. *Automatica aplicată.* Ed. II-a. Editura Tehnică, 1971.

]14] Papadache, I. *Automatizări industriale.* Editura Tehnică, 1978.

[15] Ionel, I. *Acționarea electrică a turbomașinilor.* Editura Tehnică, 1980.

[16] Ionel, I. *Instalații de pompare reglabile.* Editura Tehnică, 1976.

[17] Ganea, N. *Alegerea, exploatarea, întreținerea și repararea pompelor.* Editura Tehnică, 1981.

[18] Vladimirescu, I. *Mașini hidraulice și stații de pompare.* Editura Didactică și Pedagogică, 1974.

[19] Burchiu, V., Santau, I., Alexandrescu, O. *Instalații de pompare.* Editura Didactică și Pedagogică, 1982.

[20] Anton, V., Popoviciu, M., Fitero, I. *Hidraulică și mașini hidraulice.* Editura Didactică și Pedagogică, 1978.

(Primit la 17 noiembrie 1987, acceptat la 4 ianuarie 1988)

Acționări electrice reglabile pentru pompe și ventilatoare. Stadiul și tendințele pe plan mondial și în R. S. România

Ing. Günther Weinrich, ing. Mircea Lungu, ing. Ștefan Stăiculescu, ing. Radu Țiucra*

Descriptori: acționări cu turație variabilă, pompe, ventilatoare, tendințe

1. Economii de energie prin variația turației pompelor și ventilatoarelor

Puterea necesară la arborele unei pompe centrifugale este dată de relația [1]:

$$P_{pompă} = \frac{Q \times H}{\eta_{pompă}} \cdot \frac{\rho g}{3600}, \qquad (1)$$

unde:

$P_{pompă}$ este puterea mecanică la arborele pompei, în kW;
Q — debitul, în m³/h;
H — înălțimea de refulare, în m;
ρ — densitatea, în kg/dm³;
g — accelerația gravitațională la suprafața pământului = 9,81 m/s²;
$\eta_{pompă}$ — randamentul pompei.

Punctul de funcționare în planul $Q-H$ se stabilește la intersecția dintre caracteristica pompei și caracteristica instalației alimentate (A în fig. 1). Reducerea debitului de la Q_A la Q_B (fig. 1) se poate obține:

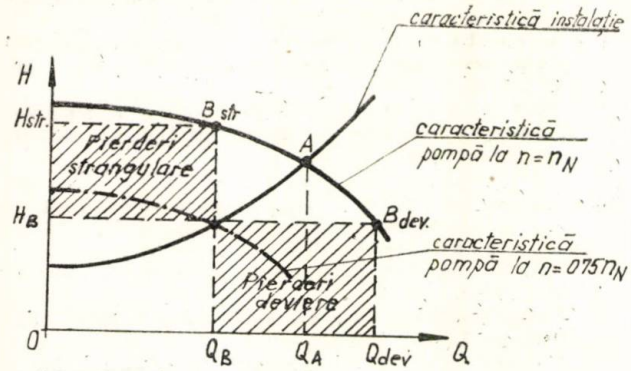


Fig. 1. Caracteristici $Q(H)$ pentru pompă și instalație. Variația debitului de la Q_A la Q_B prin: strangulare (ΔH); deviere (ΔQ); variație turație (Δn).

— pe cale mecanică, prin strangulare, punctul de funcționare deplasîndu-se pe caracteristica pompei în B_{str}, care corespunde unei înălțimi de refulare $H_{str} = H_B + \Delta H$, unde ΔH cade pe organul de strangulare: puterea la arborele pompei (proporțională cu aria $H_{str} \times Q_B$) este suma dintre puterea utilă (proporțională cu aria $H_B \times Q_B$) și puterea pierdută prin strangulare (proporțională cu aria $\Delta H \times Q_B$);

— pe cale mecanică, prin devierea unei părți a debitului, punctul de funcționare deplasîndu-se pe caracteristica pompei în B_{dev}, care corespunde unui debit total $Q_{dev} = Q_B + \Delta Q$, unde ΔQ reprezintă debitul fluidului deviat: puterea la arborele pompei (proporțională cu aria $H_B \times Q_{dev}$) este suma dintre puterea utilă (proporțională cu aria $H_B \times Q_B$) și puterea pierdută prin deviere (proporțională cu aria $H_B \times \Delta Q$);

— prin variația turației pompei, caracteristica acesteia se deplasează în jos pe figura 1 și punctul de funcționare se stabilește la noua intersecție B: puterea la arborele pompei (proporțională cu aria $H_B \times Q_B$) corespunde și puterii utile.

Pentru un calcul mai exact, conform relației (1), trebuie să se corecteze ariile menționate prin împărțire la randamentul pompei, care este mai bun în punctul B față de B_{str} și mai ales B_{dev}, ceea ce mărește diferența puterilor consumate.

Caracteristica pompei la turații reduse se poate calcula și reprezenta grafic prin relațiile [1]:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad \text{și} \quad \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2. \qquad (2)$$

În cazul unor variații frecvente ale debitului, cerute de procesul tehnologic, este evidentă economia de energie ce se poate obține la arborele pompei prin procedeul de variație a turației, comparativ cu procedeele de strangulare și deviere, practicate în prezent pe scară largă. Situația este similară în cazul ventilatoarelor. La nivelul economiei naționale, aplicarea procedeului de reglare a turației la pompe și ventilatoare prezintă o importanță deosebită, mai ales în contextul energetic actual.

În calculul economiilor de energie trebuie să se țină seama de consumul de putere din rețeaua electrică:

$$P_{acț.} = \frac{P_{pompă}}{\eta_{MC} \times \eta_C}, \qquad (3)$$

unde:

η_{MC} este randamentul motorului alimentat de la convertizor, ceva mai redus decît randamentul motorului în condițiile standard de alimentare, din cauza

* Ing. Günther Weinrich, ing. Mircea Lungu — Institutul de Cercetare Științifică și Inginerie Tehnologică pentru Automatizări, ing. Ștefan Stăiculescu, ing. Radu Țiucra — Intreprinderea Electrotehnica.

pierderilor suplimentare provocate de armonicele de tensiune și curent ale convertizorului;

η_C — randamentul convertizorului de alimentare a motorului.

În cazul convertizoarelor statice moderne pe bază de tiristoare sau tranzistoare de putere, pierderile suplimentare în motor și pierderile în convertizor sînt suficient de reduse, comparativ cu pierderile de putere în cazul procedeelor de strangulare și deviere.

2. Soluții de acționări electrice reglabile pentru pompe și ventilatoare

Pe plan mondial s-au impus următoarele soluții de acționare reglabilă pentru pompe și ventilatoare:

- motor c.c., comandat prin redresor cu tiristoare: soluția cea mai simplă și bazată pe o largă experiență industrială în diferite domenii, dar cu dezavantajele cunoscute ale colectorului acestui motor (necesitatea întreținerii, dificultatea obținerii unor grade de protecție ridicată și mai ales a execuției antiexplozive, limitarea turației la creșterea puterii (fig. 2, [2] etc.);
- motor sincron autopilotat prin convertizor static de frecvență, care înlocuiește colectorul electric al motorului de c.c.: soluție unică în domeniul turațiilor de peste 1500 rot/min la puteri de peste 1...2 MW [2], (fig. 2) aplicabilă însă și la puteri și turații mai reduse față de aceste valori;
- motor asincron cu inele colectoare, comandat pe rotor prin convertizor cu tiristoare (cascadă subsincronă), soluție aplicată în domeniul turațiilor de pînă la 1500 rot/min (fig. 2), [2], mai ales la puteri peste 100 kW în cazul unor game reduse de variație a turației (0,7 ...1 pînă la 0,5 ... 1): soluție economică cu posibilitatea funcționării în anumite condiții și fără convertizor în caz de defect, dar cu dezavantajul prezenței inelelor colectoare și a periilor aferente;
- motor asincron cu rotorul în colivie, comandat prin convertizor static de frecvență, soluție aplicată la puteri pînă la circa 1...2 MW [2], (fig. 2), mai ales la turații mari (peste 1500 rot/min): soluție mai scumpă, dar cu motor foarte robust, realizabil în toate gradele de protecție și utilizat în prezent pe scară largă la acționarea nereglată a pompelor și ventilatoarelor.

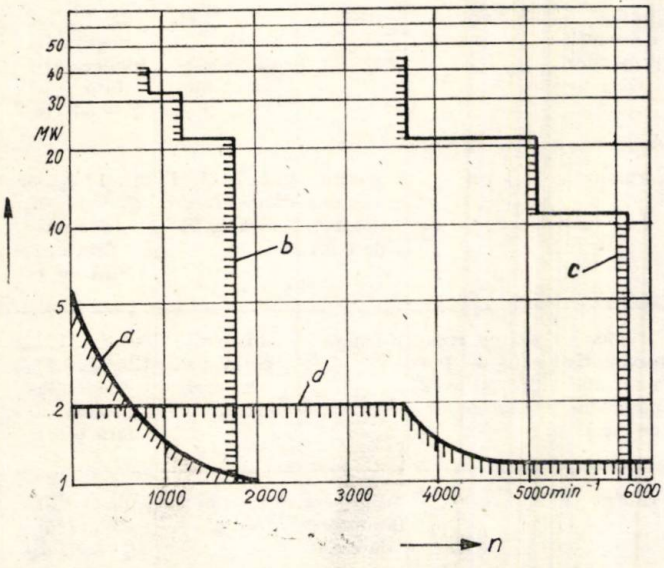


Fig. 2. Limitele de putere/turație ale sistemelor de acționare reglabilă alimentate prin convertizoare statice [2]: a — motor de c.c. comandat prin redresor cu tiristoare; b — motor asincron cu inele colectoare în cascadă subsincronă cu tiristoare; c — motor sincron autopilotat prin convertizor de frecvență cu tiristoare; d — motor asincron cu rotor în colivie, comandat prin convertizor cu frecvență cu curent imprimat.

Notă: curba b este dată pentru 60 Hz; pentru 50 Hz se reduce la circa 1450 min^{-1}.

Soluțiile enumerate nu se exclud în domeniile de suprapunere, ci se aplică în paralel, în funcție de caracteristicile specifice în anumite domenii, în care prezintă avantaje tehnico-economice maxime.

Aceste soluții se vor prezenta mai detaliat în capitolele următoare, în care se vor pune în evidență caracteristicile lor esențiale sub aspectul aplicării la acționările de pompe și ventilatoare, precum și posibilitățile actuale și de perspectivă în R. S. România.

3. Acționări electrice cu motor de c.c. comandat pe indus prin redresor cu tiristoare

Schema bloc este prezentată în figura 3. Referința de turație este impusă printr-un potențiometru sau de la ieșirea unui regulator suprapus (de exemplu de debit). Turația se măsoară printr-un tahogenerator în cazul în care este necesară o reglare de precizie în gamă largă (peste 0,1...1), sau indirect prin relația:

$$n = \frac{E}{k_E \Phi} = \frac{U - R_A I}{k_E \Phi}, \qquad (4)$$

unde $\Phi = \Phi(I_E)$, folosindu-se un traductor de tensiune pentru U și o reacție de compensație de la traductorul de curent existent în convertizor și menținînd constant curentul de excitație, deci fluxul motorului, cu ajutorul unui convertizor, de obicei de tip miniatură. Măsurarea indirectă este mai scumpă decît cea prin tahogenerator, dar se aplică în cazul în care montarea tahogeneratorului prezintă probleme. Se poate renunța la convertizorul de excitație în cazul

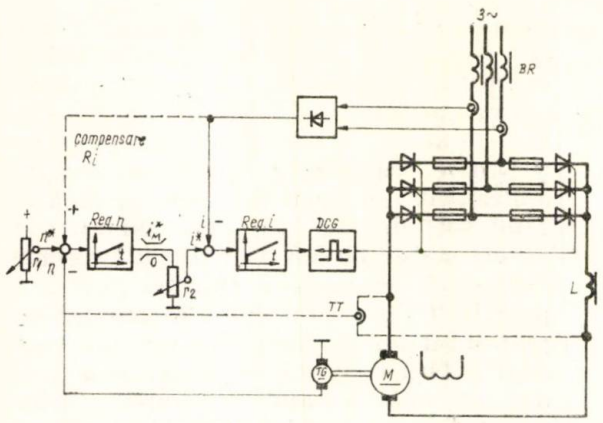


Fig. 3. Acţionare nereversibilă cu motor de c.c. comandat pe indus prin tiristoare în punte trifazată.

Notă: în cazul măsurării indirecte a turaţiei, cînd tahogeneratorul lipseşte, se aplică circuitele reprezentate prin linie întreruptă.

comenzii de la un regulator suprapus în cascadă, întrucît acesta din urmă determină precizia parametrului reglat (de exemplu debitul).

Regulatorul de turaţie comandă în cascadă regulatorul de curent al indusului, prescriindu-i acestuia referinţa de curent. Limitînd semnalul de ieşire din regulatorul de turaţie, deci referinţa de curent, se limitează implicit curentul de accelerare sau suprasarcină a motorului.

Principalele caracteristici ale acţionărilor cu motoare de c.c., comparativ cu celelalte tipuri de acţionări reglabile, sînt date în tabelul 1.

Convertizorul cu tiristoare are următoarele efecte asupra reţelei [3] (vezi şi W e i n r i c h. G. *Condiţii de racordare la reţeaua electrică a convertizoarelor cu tiristoare pentru acţionări electrice*, referat în cadrul cursurilor de perfecţionare MIM-iunie 1984 şi MICM-dec. 1984) :

a) Încărcarea reţelei cu putere reactivă, avînd în vedere că variaţia tensiunii continue se obţine prin tăiere de undă a sinusoidei la un unghi α, care coincide în mod practic cu decalajul φ dintre curentul absorbit din reţea şi tensiunea pe fază a reţelei :

$$\cos \varphi \cong \cos \alpha = \frac{U_{Mot}}{1{,}35\ U_{reţea}} \qquad (5)$$

în cazul unei punţi trifazate

Tabelul 1

Date comparative ale diferitelor tipuri de acţionări electrice reglabile utilizate la pompe şi ventilatoare (pentru puteri, vezi figurile 2 şi 5 şi tabelul 2)

Tip motor	Convertizor (componenţă)	Gamă turaţie (n/n_{max})	Grad protecţie motor	Întreţinere motor	Cost acţionare	Posibilitate funcţionare fără convertizor	Consum putere reactivă	Armonici introduse în reţea	Cupluri oscilatorii
Motor de c.c. cu excitaţie independentă	Redresor cu tiristoare pe indus	0,01 . . .1 cu tahogenerator 0,1 . . .1 fără tahogenerator	IP23S, IP(R)44, Ex: dificil şi mai scump	da: colector şi perii	redus (cu excepţia protecţiei Ex)	nu	mediu	ν : 5, 7, 11, 13 . . . (dodecafazare: fără 5, 7)	$6f$, $12f$ . . . neglijabile (dodecafazare fără $6f$) $f = 50$ Hz
Motor sincron autopilotat	Redresor cu tiristoare + bobină + invertor cu comutare naturală	0,05 . . .1	orice nivel	foarte redusă	mediu	nu	mediu (ca la motorul de c.c.)	ν: 5, 7, 11, 13 (dodecafazare fără 5, 7)	$6f_1$, $12\ f_1$ . . . (f_1 variabil) (dodecafazare: fără $6f_1$)
Motor asincron cu inele colectoare	Redresor cu diode + bobină + invertor cu comutarea de la reţea	0,7 . . .1 (0,5 . . .1)	IP23S, IPW23, IP44, IP54, Ex: dificil	redusă: inele şi perii	redus (aproximativ la nivelul motorului de c.c.)	da, cu reostatul de pornire şi eventual reglaj	mare	invertor: ca la c.c., dar mai reduse;	$6af$(7 . . .10 %) $12af$(3 . . .5 %) (dodecafazare: fără 6 af)
Motor asincron cu rotorul în colivie	Redresor cu tiristoare + bobină + invertor cu stingere forţată	0,1 . . .1 (0,05 . . .1)	orice nivel	practic fără	ridicat	da, pe reţea la turaţie maximă	mediu (ca la motorul de c.c.)	ca la motorul de c.c.	$6f_1$ (15 %) $12f_1$ (7 %) (f_1 variabil)
	Redresor cu diode + invertor cu tranzistoare sau tiristoare GTO	0,1 . . .1 (0,05 . . .1)					neglijabil (cos $\varphi \simeq 1$)	practic fără	neglijabile (modulare sinusoidală a curenţilor de fază)

Cum, în general, motorul se alege cu $U_{MN} \cong$ $\cong 1{,}15\, U_{rețea\,N}$ (de exemplu $U_{MN} = 440$ V pentru $U_{rețea\,N} = 380$ V), rezultă :

$$\cos \varphi \cong 0{,}85 \frac{U_{Mot}}{U_{MN}} \cong 0{,}85 \frac{n}{n_N}. \qquad (6)$$

Factorul de putere scade (și respectiv puterea reactivă crește) pe măsura scăderii turației n.

b) Încărcarea rețelei cu putere deformantă, convertizorul cu tiristoare în punte trifazată fiind o sursă de armonici de curent de ordinul $\nu = 5, 7, 11, 13 \ldots$, având amplitudinea de aproximativ $1/\nu$, injectați în rețea.

Aceste armonici de curent deformează într-o anumită măsură forma de undă a tensiunii rețelei, pe sinusoida respectivă apărînd așa-zisele „crestături de comutație" care pot deranja alți consumatori racordați la aceleași bare, dacă amplitudinea lor depășește un anumit nivel. Pentru reducerea acestui efect convertizoarele cu tiristoare se conectează la rețea fie prin transformator propriu (dacă este necesară o adaptare a tensiunii), fie prin bobină de rețea trifazată, ambele asigurînd o tensiune de scurtcircuit de 4% (joasă tensiune)... 6,5% (transformator de medie tensiune). În general suma puterii aparente a convertizoarelor cu tiristoare nu poate depăși o anumită fracțiune din puterea nominală a transformatorului care alimentează barele de racord comune cu alți consumatori, ca de exemplu motoare asincrone și altele (1/6 ... 1/3, [3, 4]), valoare care trebuie calculată de la caz la caz în funcție de configurația sistemului și indicatorii de sarcină și simultaneitate [3, 4].

Armonicile de curent pot provoca fenomene periculoase de rezonanță în rețea, dacă se conectează baterii de condensatoare pentru compensarea factorului de putere [3, 4]. Acestea din urmă trebuie să fie decuplate prin înseriere de bobine, soluție practicată la puteri mici și în rețele de joasă tensiune, sau prin constituire în filtre de armonici prin înseriere de bobine acordate pe frecvențele $5\, f_1$*, $7\, f_1$ și eventual $11\, f_1$ și $13\, f_1$, soluție practicată în rețelele de medie tensiune, la puteri mari. Filtrele acordate pot crea unele probleme în cazul unor rețele cu frecvența variabilă în limite de peste $\pm 2\%$.

La acționări de putere mai mare (peste circa 0,5...1 MW) se recomandă realizarea într-o schemă „dodecafazată" (fig. 4), la care două punți (sau ansambluri de punți) trifazate se leagă la secundare distincte de transformator, defazate cu 30°el prin conexiuni stea-triunghi. Prin acest procedeu se anulează în mod practic cele mai importante armonici, de ordinul 5 și 7, în partea de primar a transformatorului de alimentare. Cele două convertiroare componente se leagă în paralel pe partea de c.c. prin intermediul unei bobine „de absorbție" a armonicelor. Regulatoarele de curent sînt individuale, iar cel de turație comun, prescriind aceeași referință de curent. O reducere parțială

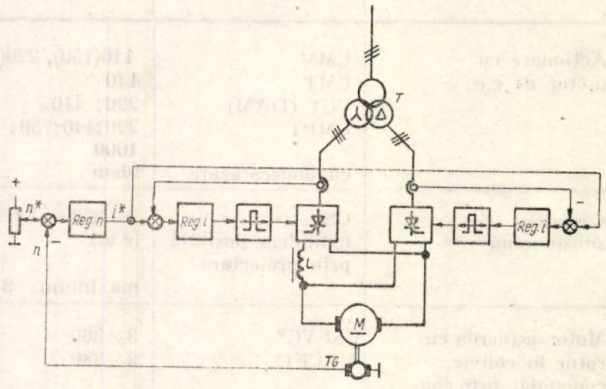


Fig. 4. Acționare cu motor de c.c. de putere, cu redresor cu tiristoare dodecafazat.

a armonicelor 5 și 7 se poate obține în cazul unui ansamblu de acționări similare prin racordarea convertizoarelor individuale la transformatoare cu grupe de conexiuni diferite.

Efectele asupra motorului ale armonicelor de curent prin indusul acestuia, datorită ondulațiilor de frecvență $6f_1 = 300$ Hz și multiplii acesteia în cazul punții trifazate sînt foarte reduse :

— o creștere ușoară a pierderilor ;

— cuplu pulsatoriu de frecvența acestor armonici, care este însă foarte ridicată și depășește de obicei frecvența de rezonanță proprie a utilajului mecanic.

În caz de necesitate, aceste armonici de curent se pot reduce printr-o bobină de filtrare înseriată cu indusul motorului. Prin schema dodecafazată se obține eliminarea armonicii de ordinul $6f_1$, iar armonica de ordinul $12f_1 =$ $= 600$ Hz este destul de redusă și de frecvență ridicată, încît nu ridică probleme.

Posibilitățile din R. S. România în domeniul acționărilor reglabile cu motoare de c.c. sînt foarte largi (tabelul 2). Se fabrică o gamă largă de motoare de c.c. [5], ca de exemplu :

— seria de motoare de uz general MCG la puteri pînă la circa 125 kW și chiar peste acest nivel (IMEB) ;

— seria de motoare pentru metalurgie MCM (IMEB pînă la 75 kW, IEPC pînă la 740 kW) ;

— motoare pentru laminoare pînă la 3500 kW (IEPC și ICMR) ; se fabrică și multe tipuri de motoare speciale, ca de exemplu motoare de c.c. pentru foraj petrolier în execuție antiexplozivă (850 kW—IEPC). Pe măsura creșterii puterii, turația maximă obtenabilă scade (fig. 2 și 5) din cauza fenomenului de comutație.

Pentru întreaga gamă de motoare menționată există în fabricație la întreprinderea Elec-

* f_1 = frecvența fundamentală = 50 Hz.

Tabelul 2

Acţionări electrice reglabile pentru pompe şi ventilatoare realizabile cu convertizoare şi motoare fabricate în ţară

Tip acţionare	Cod convertizor I. Electrotehnica	Tensiuni ieşire nominale (V)	Curenţi ieşire nominali (A)	Puteri ieşire nominale (kVA)	Puteri motor (kW)
Acţionare cu motor de c.c.	CMM CMT CCT (DAM) CMPT cu dodecafazare	110(150), 220(260) 440 220; 440 220;440;750; 1000 idem	10;20;50 70 25...630 1300;2300;3400; 4500 valori duble	1,1...11 30,8 5,5...277 286...4500 valori duble	0,55...7,5 7,5...22 4...200 200...3500 400...7000
Cascadă subsincronă	CS extindere posibilă prin proiectare	3×220...3×525 (c.a.) maximum 3×660	140...530 (c.a.) maximum 1000	trafo recuperare: 78...480 maximum 1140	45...630 (la a_M=0,5) max. 1250 kW (la a_M=0,5)
Motor asincron cu rotor în colivie, comandat prin convertizor de frecvenţă	CSFVC* VGCFI*	3×360 3×380	8; 24 50; 100; 150; 230; 300	5; 15 30; 60; 100; 150; 200	2,2...11 15...160

* *NOTĂ*: Se livrează cu consultarea prealabilă a furnizorului.

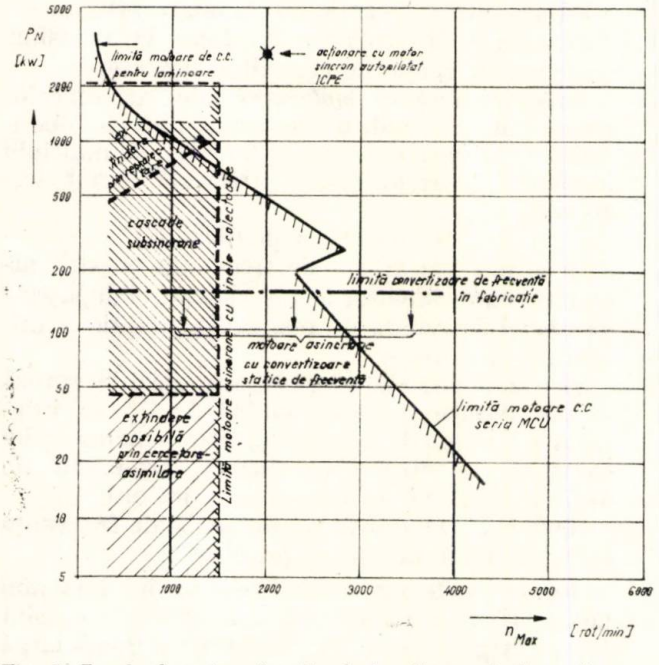


Fig. 5. Zonele de putere funcţie de turaţia maximă a acţionărilor (motor + convertizor) realizabile în R.S. România pe baza asimilărilor existente.

Notă: Întreaga zonă de sub limita motoarelor de c.c. în fabricaţie, poate fi acoperită prin convertizoarele cu tiristoare în fabricaţie la întreprinderea Electrotehnica Bucureşti.

trotehnica, pe baza proiectelor elaborate de IPA, un sortiment larg de convertizoare cu tiristoare (vezi tabelul 2), ca de exemplu:

— seria de convertizoare miniatură CMM şi CMT pentru puteri mici;

— seria de convertizoare compacte CCT, cu electronica în soluţie modulară, pentru puteri mici şi mijlocii;

— seria de convertizoare de putere cu module punte CMPT pentru puteri mari, datele principale ale parametrilor fiind indicate în tabelul 2.

Pe lîngă seriile de motoare şi convertizoare de c.c. menţionate în contextul posibilităţii de aplicare la pompe şi ventilatoare, se fabrică în ţară şi alte tipuri specifice altor domenii.

Se poate afirma că posibilităţile menţionate pentru acţionările în c.c. sînt la nivelul actual al tehnicii mondiale.

În prezent, sînt în exploatare industrială în ţara noastră şi în străinătate mii de acţionări electrice reglabile cu motoare de c.c., fabricate integral în ţara noastră, în metalurgie, construcţia de maşini, chimie (în special industria cauciucului), materiale de construcţii etc.

4. Acţionări electrice cu motor sincron autopilotat prin convertizor de frecvenţă cu tiristoare [6 ... 12]

Schema bloc a acţionării este reprezentată în figura 6.

Puntea cu tiristoare dinspre reţea funcţionează în mod obişnuit ca redresor şi reglează curentul I_d din circuitul intermediar, filtrat prin bobina L_d. Puntea dinspre motor funcţionează de obicei ca invertor, transformînd energia de curent continuu din circuitul intermediar în energie de c.a. trifazat, transmisă motorului sincron. Puntea dinspre reţea funcţionează cu comutaţie naturală de la reţea, iar puntea dinspre motor, cu comutaţie naturală de la sarcină (motor), folosind tensiunea la bornele maşinii sincrone, care trebuie să funcţioneze pentru aceasta în regim capacitiv, supraexcitat. Doar la pornire, la frecvenţe foarte joase, cînd tensiunea maşinii sincrone este prea redusă, comanda motorului se face

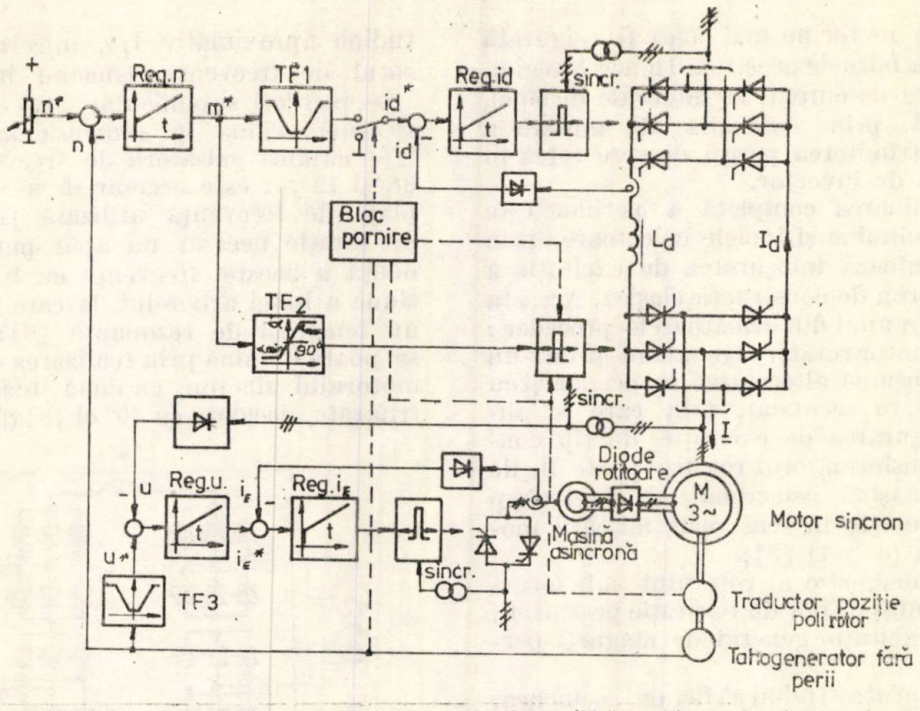


Fig. 6. Acționare reglabilă nereversibilă cu motor sincron autopilotat (fără perii) cu funcționare în zonele $M = M_N$ și $P = P_N$.

prin pilotare de la traductorul de poziție și stingere după fiecare puls de curent prin trimiterea impulsurilor pe poartă la puntea dinspre rețea în regim limită de invertor.

Variația turației motorului sincron se face desigur prin variația frecvenței tensiunii de alimentare. Motorul sincron este însă principial un element cu caracter oscilant, care intră ușor în pendulări. Din acest motiv se aplică procedeul de „autopilotare" a motorului sincron prin convertizorul de frecvență (fig. 6) [6—8].

Frecvența invertorului nu este impusă din exterior, ci de însăși viteza de rotație a motorului sincron, fie de la un semnal luat de la un traductor al poziției rotorice [7] (deci la un unghi fix al curentului statoric I, imprimat de convertizor, în raport cu axa polilor, respectiv fluxul de excitație), fie, de preferință, de la un semnal luat chiar de la bornele statorice ale motorului sincron [6, 8] (deci la un unghi fix al curentului statoric I în raport cu fazorul tensiunii statorice U, deci axa fluxului rezultant în mașină, ceea ce înseamnă implicit cos φ = = const. pentru motor). În felul acesta se păstrează riguros corelarea unghiurilor și sincronismul, dar cu variații ale frecvenței și turației la variații bruște ale sarcinii; printr-o schemă de reglare automată a turației (fig. 6) se poate asigura revenirea rapidă și menținerea în continuare a turației la valoarea impusă în cazul unor variații ale sarcinii. Astfel, de exemplu, la o creștere a sarcinii la arborele motorului turația tinde să scadă și ca urmare regulatorul de turație comandă o referință de curent mai mare regulatorului subordonat, încît curentul prin motor crește și motorul se accelerează pînă la restabilirea echilibrului. Prin aceasta, se elimină caracterul oscilant al motorului sincron, care devine de fapt un motor de c.c. la care comutatorul mecanic (colectorul) s-a înlocuit prin unul electronic (invertorul). De aceea, motorul sincron autopilotat se mai numește și „motorul de c.c. fără perii".

Schema din figura 6 permite și funcționarea în regim de frînare recuperativă, motorul sincron trecînd în regim de generator sincron, puntea dinspre mașina sincronă fiind comandată în regim de redresor, iar puntea dinspre rețea în regim de invertor de recuperare.

În cazul funcționării în regim motor, transformatorul funcțional TF_2 prescrie unghiul limită de invertor (de ex. 150° el), iar la funcționarea în regim generator (frînare) unghiul limită de redresor (de exemplu 10° el). Transformatorul funcțional TF_1 asigură prescrierea unui curent minim, sub care în circuitul intermediar curentul ar prezenta întreruperi datorită ondulațiilor sale, regim nepermis.

În această zonă intermediară, prin TF_2 se prescriu unghiuri de aprindere intermediare, de ex. 90° el, la mersul în gol ideal.

Transformatorul funcțional TF_3 se folosește atunci cînd se dorește ca pînă la turația de bază să se funcționeze nu la flux de excitație constant, ci la flux rezultant constant, ceea ce presupune păstrarea raportului U/f.

Circuitele reprezentate cu linie întreruptă servesc la pornirea motorului (și eventual funcționarea sa) pînă la o frecvență minimă, de exemplu 5 Hz, cînd stingerea tiristoarelor

punţii dinspre motor nu mai poate fi asigurată de tensiunea la bornele acestuia. În acest regim, fiecare stingere de curent, la intervale de 60°el, este realizată prin comanda de anulare a curentului şi trimiterea punţii dinspre reţea în regimul limită de invertor.

Pentru eliminarea completă a periilor este necesar să se elimine şi inelele colectoare, prin care se alimentează înfăşurarea de excitaţie a motorului sincron de construcţie clasică. Aceasta este posibil prin unul din următoarele procedee :

— transformator rotativ, comandat printr-un variator de tensiune alternativă în primar şi cu diode rotative în secundar, prin care se alimentează înfăşurarea de excitaţie de tip convenţional : transformatorul rotativ poate fi, de exemplu, o maşină asincronă, al cărei cîmp învîrtitor se roteşte în sens opus mişcării motorului sincron ($a > 1$) [8];

— circuitul magnetic al rotorului sub formă de gheară şi înfăşurarea de excitaţie pe stator;

— flux de excitaţie generat de magneţi permanenţi.

Tahogeneratorul ar trebui să fie, de asemenea, fără perii, oferindu-se următoarele variante :

— tahogenerator de medie frecvenţă cu magneţi permanenţi şi punte redresoare cu diode, soluţie aplicabilă la acţionări nereversibile, dar care nu se fabrică încă în ţară;

— generator de impulsuri rotativ, ca de exemplu TIRO-1000, produs de ICSIT-MF, urmat de un convertor electronic frecvenţă-tensiune [7];

— tahogenerator de c.a. trifazat cu magneţi permanenţi, cu formă trapezoidală a tensiunii şi sesizor magnetic al poziţiei polare cu o rezoluţie de 60° el (acelaşi număr de poli) : printr-un dispozitiv electronic se culege mereu porţiunea plată a trapezelor tensiunii, de polaritatea corespunzătoare sensului de rotaţie [13], pentru care există unele realizări la ICPE.

Acţionările cu motor sincron autopilotat sînt de perspectivă, întrucît prezintă avantaje funcţionale (lipsa colectorului, posibilitatea realizării pentru turaţii mari, inclusiv la puteri mari, uşurinţa realizării unor grade de protecţie ridicată, inclusiv antiexplozivă.

Principalele caracteristici ale acţionărilor cu motoare sincrone autopilotate, comparativ cu celelalte tipuri de acţionări reglabile, sînt date în tabelul 1.

Efectele asupra reţelei sînt practic aceleaşi ca la motorul de c.c. comandat prin redresor cu tiristoare, dat fiind că elementul de intrare a convertizorului de frecvenţă este tot un redresor comandat şi că tensiunea acestuia variază aproximativ proporţional cu frecvenţa şi turaţia [8]. Şi în acest caz, redresorul comandat se execută în montaj dodecafazat (paralel, ca în figura 3, sau serie, ca în figura 7 [8]).

Efectele asupra motorului ale armonicelor de curent de ordinul $\nu = 5, 7, 11, 13 \ldots$ şi amplitudine aproximativ $1/\nu$, injectate de convertizorul de frecvenţă, constau în următoarele :

— pierderi suplimentare, de care trebuie să se ţină seama la dimensionarea motorului;

— cupluri pulsatorii de frecvenţă (variabilă) $6f_1$ şi $12\ f_1$: este necesar să se verifice dacă în plaja de frecvenţă utilizată pentru domeniul de turaţie necesar nu apar puncte de coincidenţă a acestei frecvenţe cu frecvenţa de torsiune a liniei arborelui, la care poate să apară un fenomen de rezonanţă [8]; armonica $6f_1$ se poate elimina prin realizarea dodecafazată a motorului sincron, cu două înfăşurări statorice trifazate, decalate cu 30° el [8] (fig. 7).

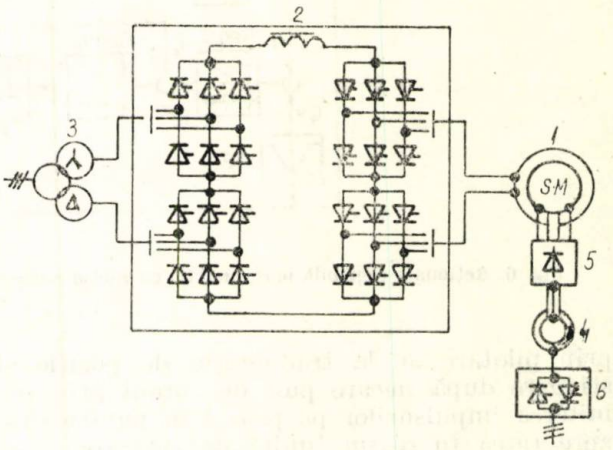


Fig. 7. Acţionare cu motor sincron autopilotat prin convertizor static de frecvenţă, soluţie fără perii: 1 — motor sincron cu două înfăşurări statorice; 2 — convertizor dodecafazat; 3 — transformator cu două secundare la 30° el. 4—excitatoare asincronă; 5 — redresor cu diode rotitoare; 6—variator de tensiune.

Motorul sincron trebuie să fie dimensionat avînd în vedere specificul alimentării prin convertizor de frecvenţă. Astfel, de exemplu din cauza comutaţiei invertorului de la tensiunea maşinii este necesar ca reactanţa supratranzitorie să fie redusă, ceea ce se poate obţine prin înfăşurarea de amortizare [8] şi creşterea întrefierului (scăderea raportului Cu/Fe).

Din diagrama dată în figura 2 rezultă că acţionarea cu motor sincron autopilotat reprezintă singura soluţie posibilă la turaţii de peste 1500 rot/min şi puteri de peste circa 1...2 MW. Această soluţie este de preferat şi pînă la 1500 rot/min, dacă gama de reglare a turaţiei necesară este mai largă decît 0,5...1.

În străinătate s-au realizat acţionări cu motoare sincrone autopilotate în gama de circa 400 kW—20 000 kW [10, 11], cu aplicaţii la acţionări de pompe (în special în centrale electrice), compresoare, ventilatoare şi extrudere.

La puteri foarte mari, peste circa 3 MW, motoarele sincrone se realizează la nivel de medie tensiune, ceea ce necesită şi convertizoare de medie tensiune cu tiristoare [9, 11], de obicei răcite cu lichid.

Posibilităţile din ţara noastră pentru aplicaţii industriale rezultă, în principal, din lucrările ICPE, care a realizat două acţionări cu motoare sincrone autopilotate de 3 MW, 0—2000 rot/min şi la care există preocupări de extindere şi la puteri sub 0,5 MW [12]. Această extindere este utilă, din cauza faptului că realizarea convertizoarelor de frecvenţă pentru motoare asincrone cu rotorul în colivie pune încă probleme în ţara noastră, din cauza faptului că nu se dispune de unele tipuri de componente (vezi pct. 6). Realizarea la puteri foarte mari necesită elaborarea unor convertizoare de medie tensiune cu tiristoare, ceea ce reprezintă o nouă cercetare pentru ţara noastră.

nulă şi turaţia va fi (aproape) cea corespunzătoare rotorului scurtcircuitat. Pe măsură ce mărim unghiul de comandă pe grilă, tensiunea invertorului creşte, proporţional creşte alunecarea şi turaţia scade. În planul M-n din figura 9 aceasta revine la o translatare în jos a caracteristicii electromecanice naturale a motorului asincron. Cînd s-a atins unghiul maxim de invertor de circa 150° el, tensiunea invertorului este maximă şi alunecarea a atins valoarea maxim posibilă, deci turaţia valoarea minimă. În felul acesta s-a acoperit domeniul haşurat din figura 9. Cu cît tensiunea secundară a transformatorului de recuperare T din figura 8 este mai mare, cu

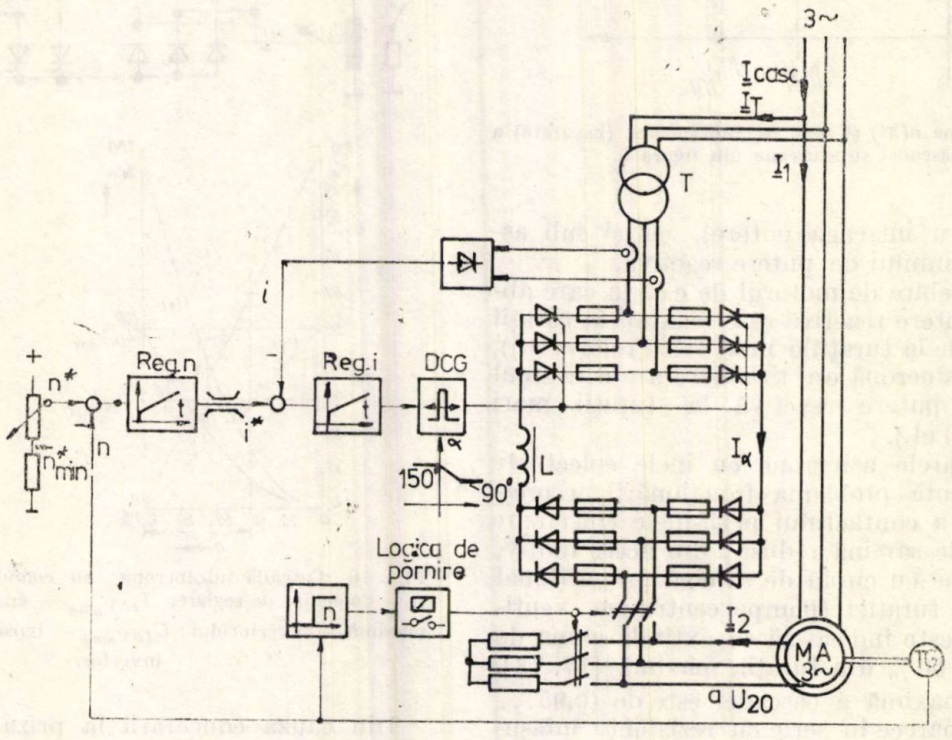


Fig. 8. Schema de reglare a unei acţionări cu motor asincron cu inele colectoare în cascadă subsincronă cu tiristoare, cu recuperarea energiei rotorice.

5. Acţionări electrice cu motor asincron cu inele colectoare în cascadă subsincronă cu tiristoare [14 ... 20]

În figura 8 este reprezentată schema unei acţionări reglabile cu motor asincron cu rotorul bobinat în cascadă subsincronă cu tiristoare (seria CS, fabricată de IET). Tensiunea rotorică este redresată printr-o punte cu diode şi energia rotorică este recuperată în reţea printr-o punte cu tiristoare care funcţionează în regim de invertor.

Tensiunea rotorică este dictată de tensiunea invertorului şi cum tensiunea rotorică este proporţională cu alunecarea, rezultă că alunecarea va varia proporţional cu tensiunea invertorului. Dacă invertorul este comandat la 90°el. tensiunea sa este nulă, deci alunecarea va fi atît se poate coborî mai jos turaţia minim obtenabilă, chiar pînă la 0.

Dar o creştere a tensiunii secundare a transformatorului T înseamnă de fapt la un curent rotoric dat o creştere a curentului de recuperare I din primarul acestui transformator, care la un unghi de comandă α al invertorului de 90°el., corespunzînd la $a \cong 0$ şi $n = n_{max}$, este complet reactiv ($\alpha = \varphi$) şi măreşte consumul de putere reactivă. Din acest motiv se evită folosirea cascadei subsincrone la game largi de reglare a turaţiei, domeniul optim fiind de circa 0,7...1, atît sub aspectul preţului (convertizorul se dimensionează numai pentru puterea de alunecare, spre deosebire de convertizorul de comandă pe indus al unui motor de c.c. funcţionînd în aceeaşi gamă, care se dimensio-

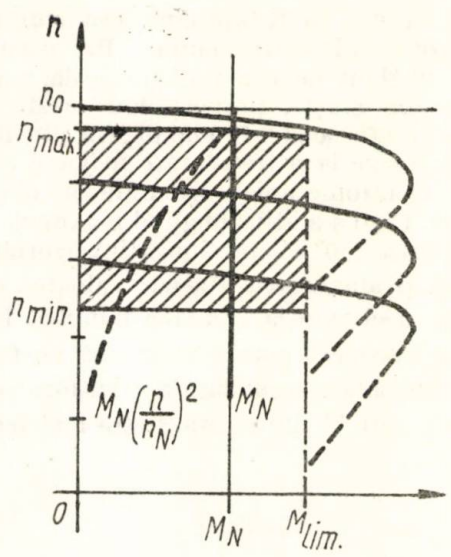


Fig. 9. Diagrama $n(M)$ și zona de funcționare (haşurată) a cascadei subsincrone din figura 8.

nează pentru întreaga putere), cît și sub aspectul consumului de putere reactivă.

Spre deosebire de motorul de c.c. la care absorbția de putere reactivă este maximă la turații joase și scade la turațiile mari (vezi relația (6)), cascada subsincronă cu tiristoare are consumul maxim de putere reactivă la turații mari ($\varphi \cong \alpha \cong 90°$el.).

La motoarele asincrone cu inele colectoare este cunoscută problema funcționării necorespunzătoare a contactului perii-inele colectoare la curenți de sarcină redusă; din acest motiv, la mecanisme cu cuplu de sarcină proporțional cu pătratul turației (pompe centrifuge, ventilatoare) nu este indicat să se extindă gama de turație sub 50% din turația maximă [17, 18].

Turația maximă a cascadei este de (0,95... 0,98) n_N, deoarece în serie cu rezistența înfășurării rotorice se leagă rezistențele cablurilor bobinei de filtrare și transformatorului de recuperare. Pentru a aduce motorul la turația minimă a cascadei se face pornirea prin reostat și se face comutarea pe cascadă la atingerea turației minime. Schema de reglare a turației și curentului și cea a convertizorului cu tiristor sînt similare cu cele ale acționării unui motor de c.c. nereversibil prezentat în figura 3.

În cazul în care cuplul de sarcină variază proporțional cu pătratul turației (ventilatoare, exhaustoare, pompe), de obicei nu este necesar să se prevadă o ventilație forțată a motorului; dacă însă cuplul de sarcină este constant (compresoare cu piston, benzi transportoare) este necesar să se prevadă o ventilație forțată, pentru a evita o reducere a efectului de răcire la turații joase.

La acționările cu cuplu rezistent la arborele motorului proporțional cu pătratul turației (pompe centrifugale, ventilatoare), o îmbunătățire sub aspectul dimensionării convertizorului static se obține prin schemele comutabile [14, 16]. În schema din figura 10 este reprezentată soluția cu autotransformator cu o priză [14] la circa 50%. Convertizorul cascadei este conectat la priza autotransformatorului în momentul în care turația a atins limita inferioară a domeniului de reglare, de exemplu 40% din turația de sincronism, la care corespunde o tensiune rotorică de 60% din cea de mers în gol la $n = 0$.

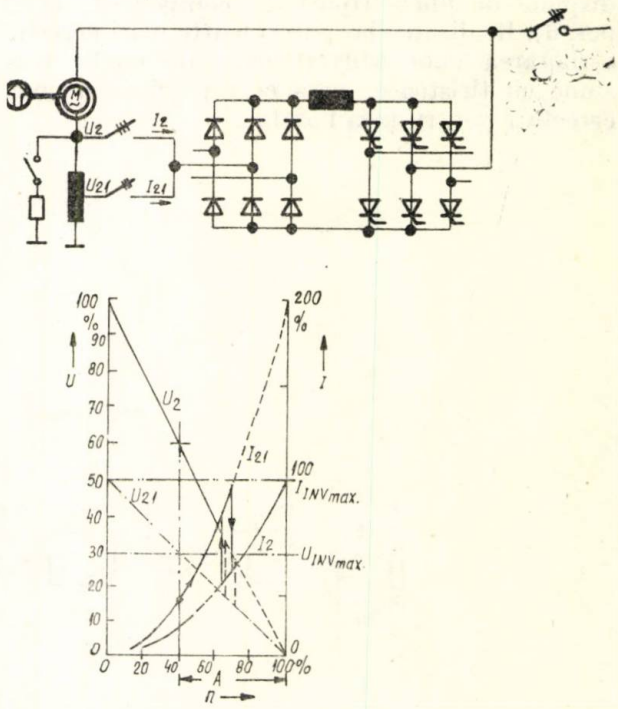


Fig. 10. Cascadă subsincronă cu comutare: $M_{sarc} = kn^2$; A — domeniul de reglare, $I_{INV_{max}}$ — curentul de sarcină maximă al invertorului; $U_{INV_{max}}$ — tensiunea maximă pe invertor.

Din cauza conectării la priza autotransformatorului, tensiunea de dimensionare a cascadei se reduce la 1/2, deci 30% din tensiunea rotorică de mers în gol la $n = 0$, tensiunea secundară a transformatorului de recuperare reducîndu-se în consecință. În momentul în care curentul de sarcină (prin convertizor) a atins valoarea nominală, deci la circa $1/\sqrt{2} = 0{,}7$ din turația de sincronism, se face comutarea pe inelele motorului, la o tensiune rotorică tot de 30% din cea de mers în gol la $n = 0$ și curentul de sarcină prin cascadă se reduce la 50% din valoarea nominală. Cu un același convertizor s-a extins gama de reglare a turației în jos de la 0,7 la 0,4 din turația de sincronism.

Printr-un procedeu similar, respectiv o priză la 30% a autotransformatorului, la care se conectează cascada la pornire, se poate elimina reostatul de pornire (fig. 11) [14]. Este necesar să se prevadă o anumită histereză în ciclul de comutare a prizelor, pentru a evita comutări frecvente în zonele de trecere.

Un alt tip de schemă comutabilă este reprezentat în figura 12 [16], cu efect similar schemei cu autotransformator cu o priză. Cele două punți cu tiristoare sînt mai întîi legate în serie și preiau întregul curent rotoric, după care (la

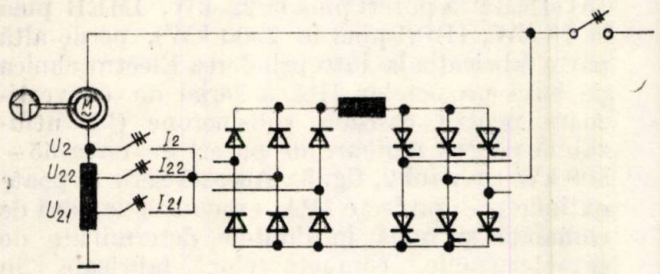


Fig. 11. Cascada subsincronă din figura 10, completată cu o treaptă de pornire pe autotransformator pentru eliminarea reostatului de pornire.

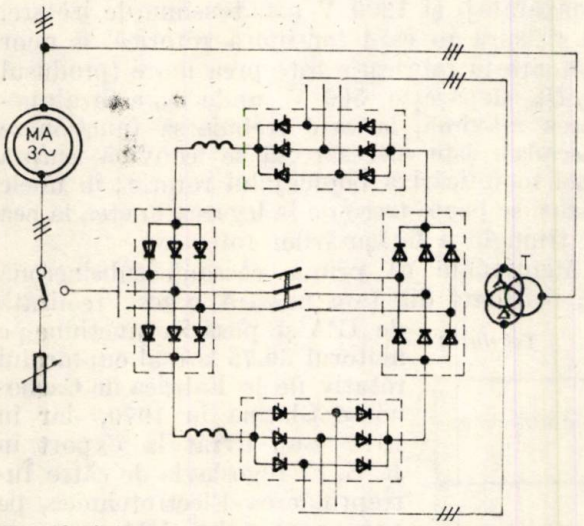


Fig. 12. Acționare cu motor asincron cu inele colectoare în cascadă subsincronă cu tiristoare, în schemă comutabilă serie-paralel, cu dodecafazare spre rețea.

turații mari) se leagă în paralel, preluînd cîte 50% din curentul rotoric, dar la tensiune mai redusă.

Principalele caracteristici ale acționărilor de tip cascadă subsincronă, comparativ cu celelalte tipuri de acționări reglabile, sînt date în tabelul 1.

În prospectul SIMOVERT-C [15] este dată o metodă detaliată de calcul al randamentului acționării în cascadă la diferite turații, a consumului de putere reactivă etc., cu exemple numerice.

Efectele asupra rețelei [16] constau în următoarele :

a) Efectele invertorului de recuperare sînt similare cu cele ale redresorului cu tiristoare la motorul de c.c., dar cu următoarele precizări :

— încărcarea rețelei cu putere reactivă este cu atît mai redusă, cu cît gama de reglare a turației este mai strînsă, datorită raportului de transformare a transformatorului de recuperare ;

— invers decît la motorul de curent continuu, încărcarea cu putere reactivă este maximă la turația maximă și minimă la turația minimă.

Ca și în cazul motorului de curent continuu, dodecafazarea punților invertoare (ca în figura 12) are un efect favorabil de reducere a armonicelor injectate în rețea.

b) Efectele redresorului rotoric se datorează formei trapezoidale a curentului rotoric, determinată de redresorul cu diode, de bobina de filtrare din circuitul intermediar și inductanța rotorică de comutare a diodelor, ceea ce duce la :

— o defazare a undei de curent față de cea a tensiunii în rotor, deci o putere reactivă destul de apreciabilă [15], care este absorbită de la rețea prin intermediul statorului ;

— ușoare bătăi ale curenților statorici în zona alunecărilor de 1/6 și 1/3, care nu deranjează decît în cazul rețelelor foarte slabe [16].

Efectele asupra motorului ale armonicelor de curent rotoric se manifestă prin cupluri de frecvență ($6af_1$), (unde a = alunecare), cu o amplitudine de 7...10% din cuplul motorului și ($12af_1$) cu o amplitudine de 3...5%. Este necesar să se verifice dacă aceste frecvențe nu coincid cu frecvența proprie de torsiune a liniei arborelui, la care poate apărea un fenomen de rezonanță. Prin realizarea rotorului cu două înfășurări rotorice, decalate cu 30° el. și legate la 6 inele, respectiv două punți separate cu diode ale cascadei (fig. 13) [16], se anulează cuplul de frecvență ($6af_1$), ca și de altfel bătăile curentului statoric în jurul alunecărilor 1/6 și 1/3.

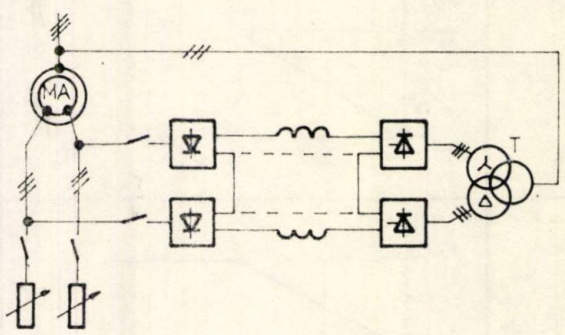


Fig. 13. Cascadă subsincronă cu tiristoare în montaj dodecafazat atît pe partea de motor, cît și pe partea de transformator de recuperare.

Creșterea pierderilor în motor datorită armonicelor de curent duce la :

— o scădere ușoară a randamentului, reprezentată în diagrama din figura 14, reprodusă după [15] ;

— o încălzire a motorului, care trebuie să se compenseze printr-o reducere corespunzătoare a cuplului în regim de durată (90% față de nominal, conform [15]).

Pe plan mondial, cascada subsincronă este preferată pentru acționări de pompe

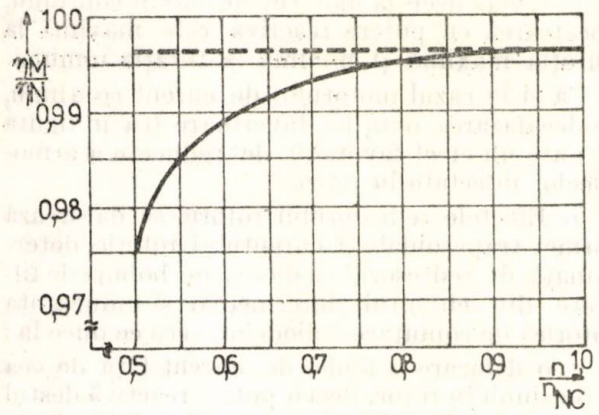


Fig. 14. Coeficientul de reducere a randamentului motorului asincron cu inele colectoare în cascadă subsincronă: —— $M = kn^2$; — — — M = const.

centrifuge şi ventilatoare de puteri mijlocii şi mari în gamă redusă de turaţie (maximum 0,5...1) şi la turaţii maxime sub 1500 rot/min (fig. 2). Se execută echipamente standard, ca de exemplu SIMOVERT-C (Siemens) pentru motoare între circa 10 şi 2000 kW [11, 15] şi echipamente de mare putere cu motoare pînă la 16...20 MW [10, 11, 17]. Domeniile preferate sînt pompele din centrale electrice şi reţelele de apă potabilă şi reziduală [10,17,19], ventilatoare şi exhaustoare în industria cimentului [20].

Posibilităţile din R. S. România sînt create, pe de o parte, de fabricaţia unei game foarte largi de motoare asincrone cu inele colectoare [5] (IEMT la puteri pînă la 22 kW, IMEB pînă la 75 kW, IEPC pînă la 2000 kW), pe de altă parte fabricaţia la întreprinderea Electrotehnica pe baza proiectelor IPA a seriei de convertizoare pentru cascade subsincrone CS, utilizabilă pentru motoare de puteri de circa 55—800 kW (tabelul 2, fig. 5). Această serie se poate extinde prin proiecte IPA, executate pe bază de comandă şi temă în limitele determinate de caracteristicile contactoarelor fabricate în R. S. România şi anume CCV (contactor de compoziţie variabilă) de 1000 A c.a., 500 V c.a. tensiune de lucru garantată de furnizor (Electroaparataj) şi 1200 V c.a. tensiune de izolare. În măsura în care tensiunea rotorică a unor motoare în fabricaţie este prea mare (produsul $a_M U_{20}$ depăşeşte 500 V, unde a_M este alunecarea maximă, la care trebuie să funcţioneze cascada), este necesar să se convină asupra unei modificări a bobinajului rotoric; în unele cazuri se poate trece de la legarea în stea la cea în triunghi a înfăşurărilor rotorice.

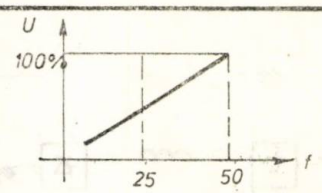
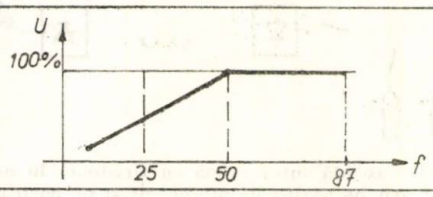
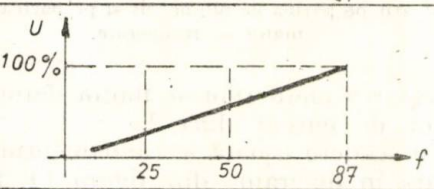
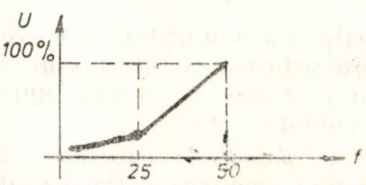
Menţionăm că prima cascadă subsincronă cu tiristoare din ţara noastră a fost realizată de IPA şi pusă în funcţiune pe motorul de 75 kW al cuptorului rotativ de la Fabrica de Carbonoase Slatina în 1970, iar în 1972 s-au livrat la export în R. S. F. Iugoslavia de către Întreprinderea Electrotehnica, pe baza proiectelor IPA, primele cascade subsincrone pentru acţionări de cuptoare rotative şi ventilatoare de la linii de ciment. De atunci s-au livrat numeroase cascade subsincrone în ţară şi mai ales la export, dintre care menţionăm cea cu motor de 1250 kW pentru un exhaustor de la o linie de ciment din Irak, cu invertorul în montaj dodecafazat.

Nu s-au aplicat pînă în prezent şi ar necesita efectuarea unor cercetări, în cazul în care ar prezenta interes:

— reglarea turaţiei fără tahogenerator, prin determinarea indirectă a turaţiei pe baza datelor rotorice (tensiune, frecvenţă, curent);

— schema cu comutare, în varianta cu autotransformator, inclusiv cu pornire fără reostat;

Tabelul 3

	Caracteristica $U = U(f)$	Domeniu de utilizare
1		Caracteristica 50 Hz $M_{sarcină} = ct$
2		Caracteristică Peste 50 Hz Slăbire de cîmp $P_{sarcină} = ct$
3		Caracteristica 87 Hz $M_{sarcină} = ct$
4		Caracteristica pentru pompe şi ventilatoare $f_{max} = f_n = 50$ Hz

— extinderea la puteri mai mici, sub 55 kW, prin realizarea unor echipamente mai compacte şi mai ieftine;

— extinderea la puteri mai mari, cu execuţia dodecafazată a motorului.

6. Acţionări electrice cu motor asincron cu rotor în colivie comandat prin convertizoare de frecvenţă [21—24]

Variaţia turaţiei motorului asincron cu rotor în colivie, comandat prin convertizor de frecvenţă, se bazează pe obţinerea în întrefierul acestuia a unui cîmp magnetic învîrtitor cu viteză variabilă prin varierea corelată a amplitudinii tensiunii trifazate şi a frecvenţei. Viteza variaţiei trebuie limitată în scopul evitării desprinderii maşinii la depăşirea alunecării critice.

Cu ajutorul convertizorului de frecvenţă se pot obţine viteze de rotaţie ale motorului atît sub viteza nominală, cît şi peste aceasta.

În tabelul 3 sînt prezentate cele mai răspîndite caracteristici $U = U\ (f)$ care se aplică la acţionările cu motoare asincrone şi convertizoare de frecvenţă. Se ştie că fluxul magnetic din motor este aproximativ proporţional cu raportul U/f.

Pentru pompe şi ventilatoare sînt utilizabile caracteristicile de tip 1 şi 4, cu observaţia că cea de tip 4 are avantajul unui randament mai bun, datorită reducerii curentului magnetizant la turaţii joase.

Din punctul de vedere al convertizoarelor de frecvenţă propriu-zise, pentru antrenarea pompelor şi ventilatoarelor se utilizează cele cu circuit intermediar, fie de „curent imprimat" (la care curentul continuu din circuitul intermediar este comutat succesiv de pe o fază pe alta a motorului, curentul imprimat în fiecare fază avînd o formă cvasirectangulară, ca în figura 16), fie de „tensiune imprimată" (la care tensiunea continuă din circuitul intermediar este comutată succesiv de pe o fază pe alta a motorului, tensiunea imprimată pe fiecare fază avînd o formă rectangulară, ca în figura 19).

6.1. Soluţia cu convertizor de frecvenţă pe bază de tiristoare, cu „curent imprimat" [*21, 24*]

În figura 15 este prezentată schema bloc a unui convertizor de frecvenţă cu „curent imprimat". Schema cuprinde redresorul R trifazat în punte complet comandată alimentat de la reţea, cu ajutorul căruia — în asociere cu bobina de filtrare L — se „imprimă" curentul

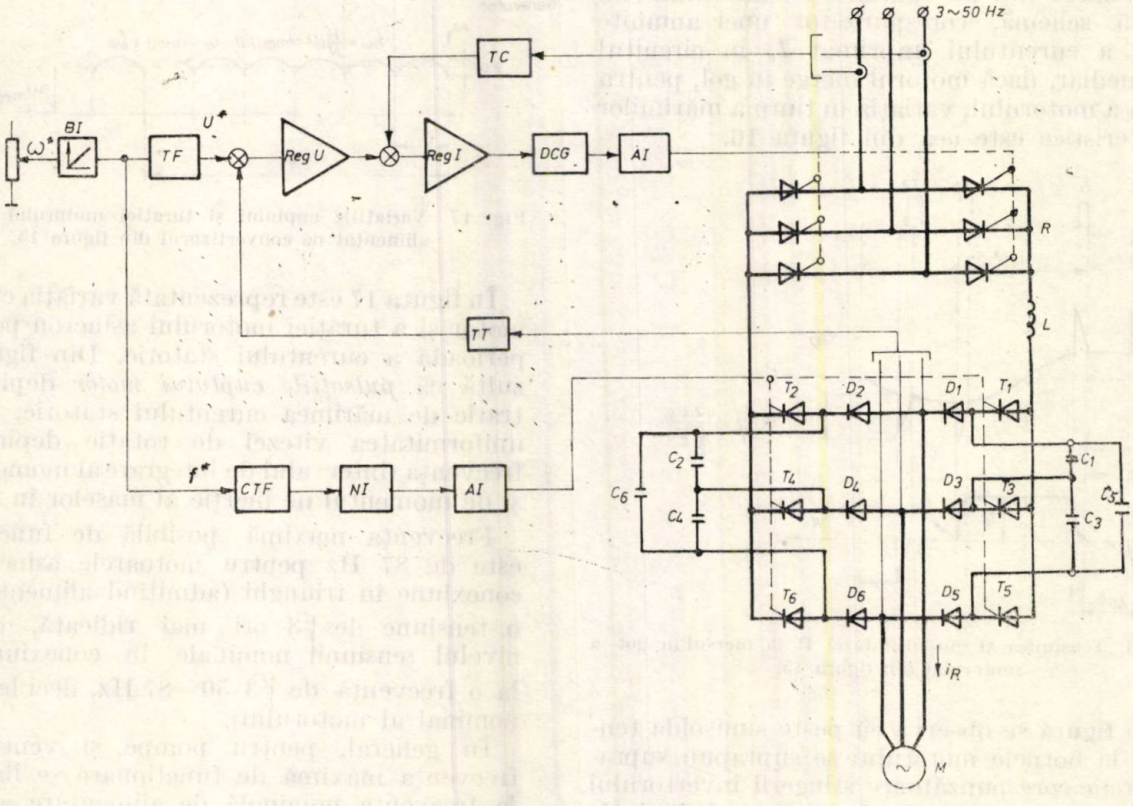


Fig. 15. Convertizor de frecvenţă cu invertor de curent. Schemă bloc: R — redresor; I — invertor; M — motor asincron; L — inductanţă de filtrare; BI — bloc integrator; TF — transformator funcţional pentru caract. $U = U(f)$; RegU — regulator de tensiune; RegI — regulator de curent; CTF — convertor tensiune frecvenţă; TT — traductor de tensiune; TC — traductor de curent; NI — numărător în inel cu şase stări; DI — amplificator de impuls: DCG — dispozitiv de comandă pe grila redresor.

continuu în circuitul intermediar. Inductanța de filtrare L diminuează influența reciprocă între redresor și invertorul ce asigură alimentarea trifazată a motorului cu frecvență variabilă, prin preluarea armonicelor de tensiune specifice fiecăreia din cele două punți.

Invertorul este de tip autonom, intrarea în conducție a unui tiristor provocînd întreruperea celui prin care trece anterior curentul în fiecare din cele două stele trifazate ce compun invertorul.

Fără a intra în detaliu în ceea ce privește funcționarea invertorului (în acest scop se poate consulta [21] și [25]), menționăm că grupele de condensatoare C_1C_3 C_5 și C_2 C_4 C_6 împreună cu inductanțele de scăpări ale motorului asincron asigură autonomia invertorului. În acest fel, schema în ansamblu este deosebit de simplă.

Menționăm că schema are posibilitatea funcționării în două cadrane a convertizorului de rețea, asigurînd funcționarea în patru cadrane a motorului asincron prin posibilitatea distribuirii corespunzătoare a impulsurilor de aprindere pentru tiristoarele $T_1 \ldots T_6$ din invertor pentru cele două sensuri de rotație. În acest fel, domeniul de aplicație a acestui tip de convertizor este mult mai larg decît cel corespunzător pompelor și ventilatoarelor, la care de obicei funcționarea într-un cadran este suficientă. La această schemă, corespunzător unei anumite valori a curentului imprimat I_d în circuitul intermediar, dacă motorul merge în gol, pentru o fază a motorului, variația în timp a mărimilor caracteristice este cea din figura 16.

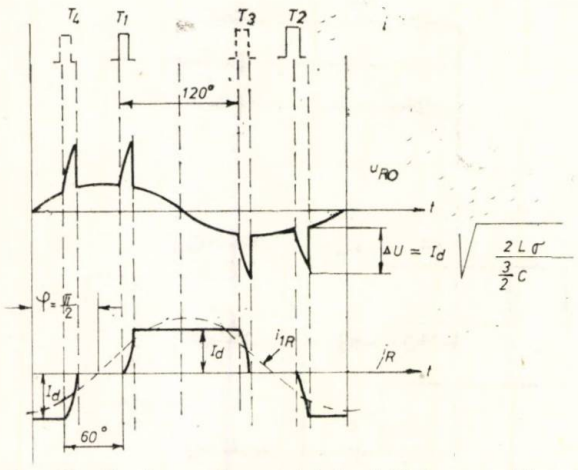


Fig. 16. Tensiunea și curentul fazei R la mersul în gol a motorului din figura 15.

Din figură se observă că peste sinusoida tensiunii la bornele motorului se suprapun supratensiunile corespunzătoare stingerii invertorului autonom. Se observă că acestea depind de mărimea curentului I_d din circuitul intermediar, de mărimea inductanțelor de scăpări ale motorului asincron și de mărimea condensatoarelor de stingere ale convertizorului.

Menționăm, de asemenea, că față de faza curentului impusă de succesiunea impulsurilor de aprindere ale tiristoarelor, sinusoida motorului se defazează la unghiuri $\varphi < \pi/2$ în funcție de sarcina de la arborele său.

În schema bloc din figura 15, bucla de reglare a tensiunii de la bornele motorului are subordonată bucla de reglare a curentului circuitului intermediar.

Cu ajutorul transformatorului funcțional TF se realizează caracteristica dorită $U = U\ (f)$ (de exemplu poziția 4 din tabelul 3).

Blocul integrator asigură o prescriere a turației crescătoare cu viteză determinată în scopul prevenirii desprinderii motorului.

Frecvența minimă de funcționare a ansamblului motor-convertizor este de circa 5Hz și este limitată de mersul neuniform la turații joase provocat de rotirea sacadată a cîmpului învîrtitor din 60° el. în 60° el. datorită formei cvasidreptunghiulare a curentului din motor.

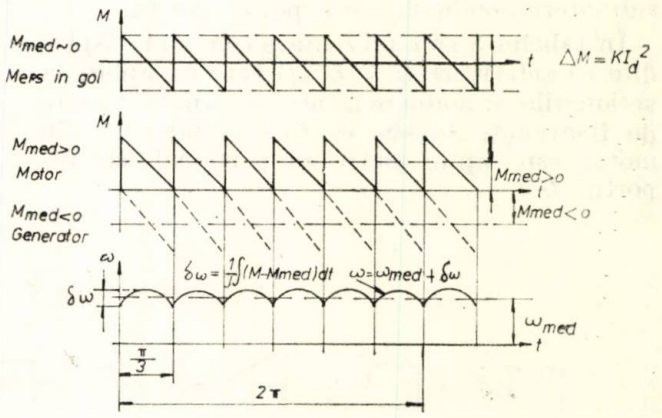


Fig. 17. Variațiile cuplului și turației motorului asincron alimentat de convertizorul din figura 15.

În figura 17 este reprezentată variația cuplului motor și a turației motorului asincron pentru o perioadă a curentului statoric. Din figură rezultă că *pulsațiile cuplului motor* depind pătratic de mărimea curentului statoric, iar neuniformitatea vitezei de rotație depinde de frecvență (intervalul de integrare al momentului) și de momentul de inerție al maselor în rotație.

Frecvența maximă posibilă de funcționare este de 87 Hz pentru motoarele asincrone cu conexiune în triunghi (admițînd alimentarea cu o tensiune de $\sqrt{3}$ ori mai ridicată, deci la nivelul tensiunii nominale în conexiune stea la o frecvență de $\sqrt{3} \cdot 50 = 87$ Hz, deci la fluxul nominal al motorului).

În general, pentru pompe și ventilatoare frecvența maximă de funcționare se limitează la frecvența nominală de alimentare a motorului (în general 50 Hz).

În acest fel domeniul de reglare al vitezei este de 5...50 Hz pentru pompe și ventilatoare, ceea ce corespunde unei variații de

debit de 1 : 100. În general, nu este necesară prevederea unei ventilații independente, deoarece cuplul de sarcină scade pronunțat la reducerea turației. Este însă necesar să se reducă puterea de sarcină a motorului cu circa 10% sub cea nominală, din cauza pierderilor suplimentare în motor, datorită regimului deformant.

În acest fel, acest tip de convertizor, care este realizabil pentru puteri de sute de kVA, devine deosebit de indicat pentru acționarea cu viteză variabilă a pompelor și ventilatoarelor.

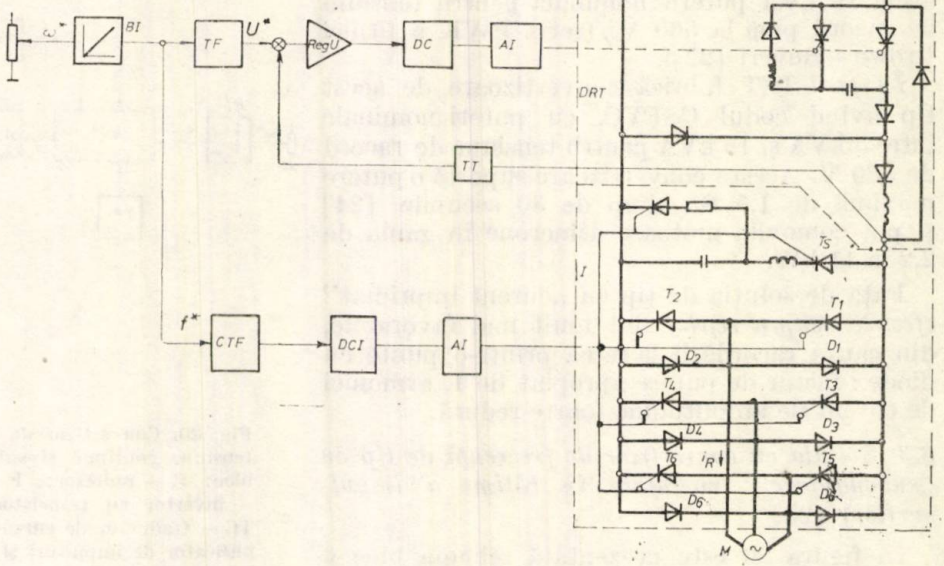


Fig. 18. Convertizor de frecvență cu circuit intermediar de tensiune continuă reglabilă prin chopper. Schemă bloc: R — redresor necomandat; F— filtru circuit intermediar; DRT — dispozitiv de reglare a tensiunii continue cu chopper; I — invertor trifazat cu tiristoare; M—motor asincron; BI — bloc integrator; TF—transformator funcțional pentru caracteristica $U = U(f)$; CTF— convertor tensiune-frecvență; RegU— regulator de tensiune; DC — dispozitiv comandă chopper; DCI—dispozitiv comandă invertor; AI — amplificator impuls; TT — traductor de tensiune.

Efectele asupra rețelei sînt aceleași ca și la motorul de c.c.

Pe plan mondial realizările în domeniu ating 1,5 MW pentru tensiuni nominale de alimentare ale motorului de maximum 1100 V [24].

În țară, IET fabrică convertizoare de acest tip, avînd codul VGCFI — u(n) pentru puteri $Sn = 30...200$ kVA, $f = 5...87$ Hz, $U_{max} = 380$ V_{ef} (29) cu care se pot comanda motoare în gama de 15...160 kW.

În prezent, limitările în extinderea convertizoarelor de tipul prezentat sînt impuse numai de asimilarea în țară a condensatoarelor de stingere de tipul adecvat acestei aplicații.

Menționăm, de asemenea, că schema bloc prezentată nu este unică și că în prezent, pentru aplicații cu caracter general este în curs de elaborare o serie de convertizoare avînd partea de forță identică cu cea prezentată, dar avînd partea de reglare principial diferită, ceea ce va permite o gamă de reglare de circa 1 : 100, avînd funcționarea în patru cadrane, similară cu cea a mașinii de c.c.

6.2. Soluția cu convertizor de frecvență pe bază de tiristoare, cu „tensiune imprimată" [22, 24]

În figura 18 este prezentată schema bloc a unui convertizor de frecvență cu circuit intermediar de tensiune continuă. „Imprimarea" tensiunii circuitului intermediar se realizează cu ajutorul unui variator de tensiune continuă de tip „chopper", acesta fiind alimentat de un redresor trifazat în punte necomandat (cu

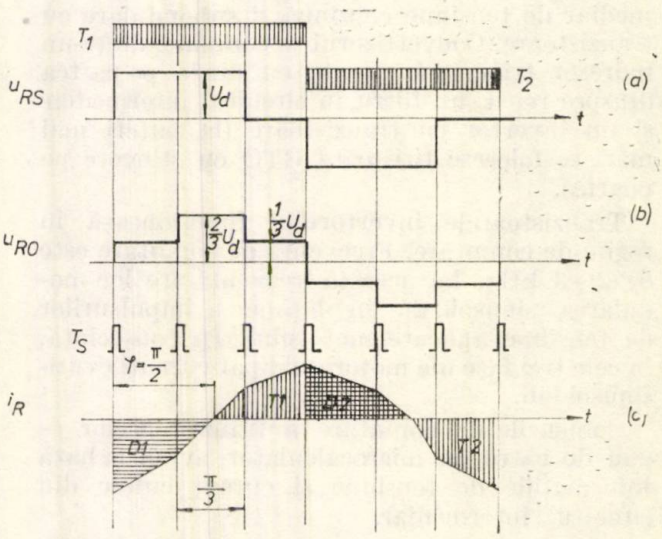


Fig. 19. Tensiunea și curentul fazei R la mersul în gol al motorului din figura 18.

diode). Invertorul de tensiune cu tiristoare este de tip cu stingere comună (tiristorul principal de stingere Ts funcționează la fiecare 60° el.).

În figura 19 este prezentată tensiunea de fază pentru faza R, curentul acestei faze și tensiunea de linie u_{RS}, precum și programul de aprindere a tiristoarelor principale și de stingere pentru motorul asincron mergînd în gol. Tiristoarele principale ale invertorului se comandă cu tren de impulsuri, curentul fazei R distribuindu-se ca în figura 19 *c*, între cele patru semiconductoare aferente fazei R.

Schema de comandă și reglare (vezi fig. 18) cuprinde o buclă de reglare a tensiunii circuitului intermediar și implicit a tensiunii alternative trifazate, precum și o comandă a frecvenței invertorului, care se realizează corelat cu prescrierea de tensiune. Blocul integrator BI și transformatorul funcțional TF îndeplinesc aceleași funcții ca și la schema precedentă.

Pe plan mondial, convertizoarele similare ating 19 kVA putere nominală pentru tensiuni de racord pînă la 500 V_{ef} (seria PWK a firmei Brown—Boveri [22]).

În țară IET fabrică convertizoare de acest tip avînd codul CSFVC, cu puteri nominale între 5 kVA și 15 kVA pentru tensiune de racord de 380 V. Aceste convertizoare suportă o putere maximă de 1,5 Sn timp de 30 secunde [24] și pot comanda motoare asincrone în gama de 2,2 la 11 kW.

Față de soluția de tip cu „curent imprimat" *efectele asupra rețelei* sînt mult mai favorabile, din cauza racordării la rețea printr-o punte cu diode : factor de putere apropiat de 1, armonici de curent de amplitudine foarte redusă.

6.3. Soluția cu convertizor de frecvență de tip cu „subondulare" (modulare în lățime a impulsurilor) [23]

În figura 20 este prezentată schema bloc a unui convertizor de frecvență cu circuit intermediar de tensiune continuă și subondulare cu tranzistoare. Convertizorul se compune dintr-un redresor trifazat în punte cu diode pe partea dinspre rețea, un filtru în circuitul intermediar și un invertor cu tranzistoare (la puteri mai mari se folosesc tiristoare GTO cu stingere pe poartă).

Tranzistoarele invertorului funcționează în regim de comutare. Frecvența de comutare este de 2—3 kHz. La această frecvență are loc modularea sinusoidală în lățime a impulsurilor de tensiune aplicate motorului. În consecință, în cele trei faze ale motorului apar curenți cvasisinusoidali.

Comenzile de comutare a tranzistoarelor se dau de către un microcalculator, avînd la bază informațiile de tensiune și curent culese din circuitul intermediar.

Soluția este optimă sub aspectul *efectului asupra rețelei* (cos $\varphi \cong 1$, armonici neglijabile) și *asupra motorului* (pulsații reduse ale cuplului motorului, armonici reduse de curent).

Pe plan mondial convertizoarele similare ating 171 kVA (132 kW) pentru tensiuni de racord de 380—440 V_{ef}. Aceste convertizoare suportă 1,5 I_n timp de 60 s (o dată la interval de 10 min) [23]. Soluția este extensibilă în sus prin folosirea tiristoarelor GTO, cu stingere pe poartă.

În țară, la IET s-au realizat recent convertizoare cu tranzistoare avînd o putere nominală a motorului acționat de 5,5 kW și U_n 3 × × 160 V_{ef}.

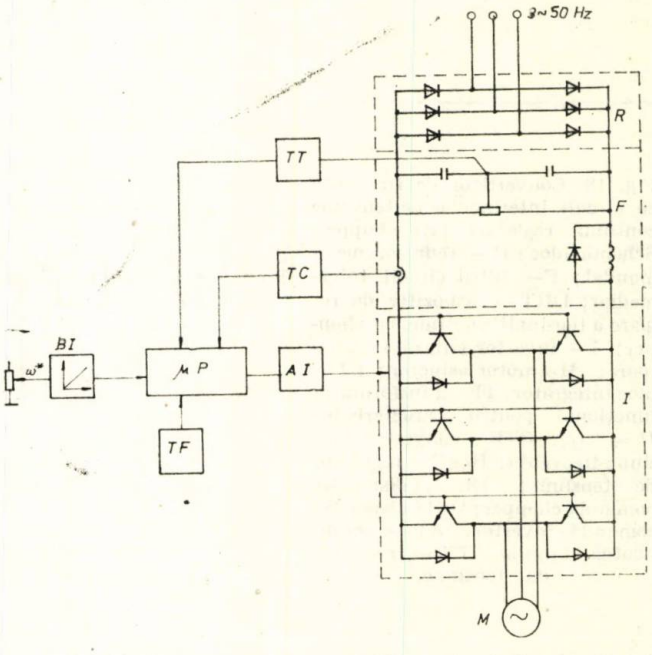


Fig. 20. Convertizor de frecvență cu circuit intermediar de tensiune continuă și subondulare cu tranzistoare. Schema bloc: R — redresor; F — filtru circuit intermediar; I — — invertor cu tranzistoare; TT — traductor de tensiune; TC — traductor de curent; μP — minicalculator; AI — amplificator de impulsuri și separare galvanică; TF — transformator funcțional pentru caracteristica $U = U(f)$; BI — bloc integrator; M — motor asincron.

Tensiunea de racord a convertizorului propriu-zis este de 3 ×220 V_{ef}, putîndu-se racorda la rețeaua de 3 ×380 V, 50 Hz prin intermediul unui transformator.

Schema de reglare diferă de cea prezentată în figura 20, ea permițînd o gamă de reglare a turației măsurată cu tahogenerator de 1 : 10000, fiind destinată acționărilor de avans ale mașinilor unelte. Pe baza acestei experiențe este posibilă elaborarea unei soluții pentru acționări de uz general și de tip pompă—ventilator, la puteri de pînă la 45 kW.

7. Considerații privind fiabilitatea și disponibilitatea acționărilor electrice reglabile pentru pompe și ventilatoare

În ceea ce privește motorul de acționare, gradul de fiabilitate cel mai ridicat îl prezintă

motorul asincron cu rotorul în colivie, urmat de motorul sincron autopilotat, motorul asincron cu inele colectoare și motorul de c.c.

Convertizorul cu tiristoare cel mai simplu și fiabil este redresorul comandat folosit în acționările cu motor de c.c., urmat de cascada subsincronă.

Acționările cu motor asincron, atît de tip cascadă subsincronă, cît și cu convertizor de frecvență, permit funcționarea la turația nominală fără convertizor, în cazul defectării acestuia din urmă și pînă la repararea sa. Mai mult, acționarea în cascadă subsincronă permite și reglajul turației prin comandă manuală prin reostatul rotoric, dacă acesta este dimensionat corespunzător (puterea disipată în reostatul de reglaj nu depășește 15% din puterea motorului în cazul unei sarcini de tip pompă-ventilator [17]), o posibilitate care nu este oferită de nici un alt tip de acționare reglabilă. Sub aspectul disponibilității acționării cascada subsincronă se situează deci pe primul loc.

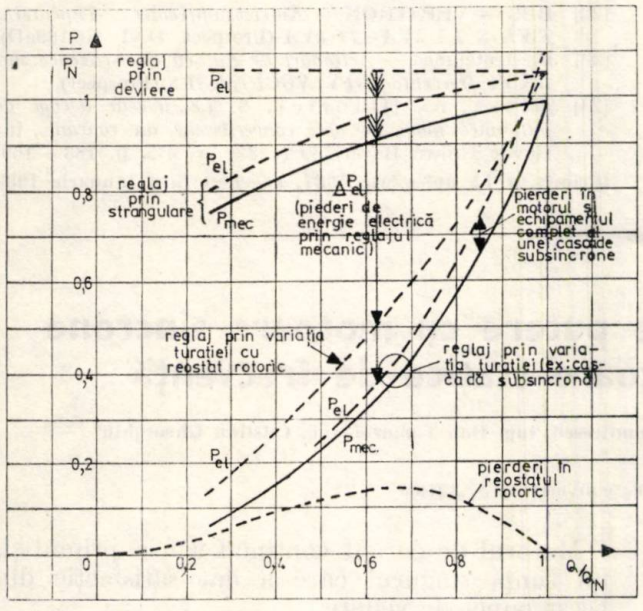


Fig. 21. Diagramele puterilor absorbite (mecanică — la arborele pompei, electrică — din rețeaua electrică) funcție de debitul pompei centrifugale.

Din figura 21 se constată o reducere apreciabilă a consumului de energie electrică, chiar în cazul reglării turației motorului asincron prin reostat rotoric. În această figură, pierderile în motorul și echipamentul complet al cascadei subsincrone (convertizor, bobină, transformator, aparatură auxiliară) au fost reprezentate conform cifrelor din [15] pentru o acționare de 450 kW. Odată cu scăderea turației și debitului, aceste pierderi globale scad sub nivelul pierderilor în motorul de antrenare a pompei în varianta cu reglaj mecanic, din cauza puterii de sarcină mult mai reduse în varianta cu reglaj de turație.

Pentru toate tipurile de convertizoare, inclusiv electronica de reglare și comandă aferentă, se iau o serie de măsuri de asigurare a calității și creștere a fiabilității, reglementate prin Ordinul MIEt nr. 118/1986. Scopul acestor măsuri este eliminarea componentelor și a unor părți slabe din execuția echipamentelor electronice prin precondiționări mecanice, termice și electrice, efectuate la nivel de :

— componente (este în curs de asimilare o gamă largă de componente electronice de uz industrial, care se livrează după efectuarea unui program de precondiționări);

— plăci cu cablaje imprimate, înainte și după echipare (vibrații mecanice, ciclări termice — 30°C/+70°C, rodaj sub tensiune și la temperatură ambiantă ridicată);

— aparate și echipamente (probă de 7 zile = 168 ore sub tensiune, la temperatura ambiantă maximă).

În felul acesta se elimină numeroasele defecte timpurii la beneficiar, din prima perioadă de exploatare a echipamentelor, care le discreditează deseori prin consecințele întreruperii funcționării utilajului acționat.

Concluzii

Prin acționarea cu turație reglabilă a pompelor și ventilatoarelor, care necesită reglaj de debit, se poate realiza o economie importantă de energie electrică la nivelul economiei naționale.

Pentru variația turației există o serie de tipuri de acționări electrice reglabile, fiecare cu avantaje și dezavantaje, puse în evidență în tabelul 1. Aceste tipuri de acționări nu se exclud, ci prezintă domenii de aplicație preferențiale (vezi figura 2 sub aspectul puterii și turației).

Industria electrotehnică din R. S. România oferă deja în prezent un spectru destul de larg de acționări reglabile (convertizoare + motoare), care se pretează pentru acționarea pompelor și ventilatoarelor (vezi tabelul 2 și figura 5) și care prezintă un grad ridicat de fiabilitate și disponibilitate. Menționăm, în primul rînd cascadele subsincrone și acționările în c.c. Există posibilitatea extinderii acestui spectru în funcție de necesități prin activități de proiectare și cercetare — asimilare în fabricație.

Se resimte necesitatea unei contribuții sporite a industriei de componente în domeniul electronicii de putere (condensatoare de comutație și electrolitice de tensiune și capacitate ridicată, tiristoare GTO, module tranzistor de mare putere).

Bibliografie

[1] AEG-Telefunken *Kreiselpumpen mit drehzahlverstellbaren Antrieben Applikationsblatt*, A52V3 — 7.20/584.

[2] Stemmler, H., Meyer, A. *Entraînements triphasés a vitesse variable á convertisseur — Un aperçu*, In: Revue Brown Boveri 69 (1982), nr. 4/5, p. 114—121.

[3] Weinrich, G. *Convertizoare modulare cu curent continuu*, anexa 2: *Condiții de racord la rețeaua trifazată a convertizoarelor cu tiristoare care alimentează motoare de curent continuu, avînd în vedere regimul deformant*, IPA, 1978.
[4] Răduți, C., Nicolescu, E. *Mașini electrice rotative fabricate în România*. Ed. Tehnică, București, 1981.
[5] Richter, W. *Regelung eines Stromrichtermotors mit einem Mikrorechner*. In: Regelungstechnik 29 (1981) 10, p. 341—350.
[6] Nitschke, H. J. *Der bürstenlose Motor, ein neuer universeller, drehzahlregelbarer Drehstromantrieb*. In: Mitt. AEG-Telefunken 63 (1973) 2, p. 73—75.
[7] Meyer, A., Schweickardt, H., Strozzi, P. *Le moteur synchrone a convertisseur de courant comme système d'entraînement à vitesse variable*. In: Revue Brown Boveri 69 (1982) nr. 4/5, p. 151—156.
[8] Wallstein, D. *Le moteur synchrone à convertisseur de courant pour le démarrage et le reglage de vitesse des gros turbocompresseurs*. In: Revue Brown Boveri (1982) nr. 4/5, p. 157—162.
[9] AEG-Telefunken *Variable Speed A. C. Drives for Steel Works, Power Stations, Pipelines and the Chemical Industry*. Reference list A 423.9.5/0784.
[10] Siemens — *Drehzahlveränderbare Antriebe*, Prospect A19.100—E319—A274.
[11] Dan, I., Șerbu, V., Zamfirescu, C. *Acționări reglate de putere cu motoare sincrone comandate prin convertizoare de frecvență. Stadiu și perspective*. Simpozion de electronică de putere și aplicații SEPA'87 — București, iunie 1987, p. 199—208 (D4).
[12] * * * *Ersetzt die Bürsten. Tachometergenerator mit elektronischer Gleichrichtung*. In: Elektrotechnik 69 (1987), nr. 11, p. 32—33.
[13] Schneider, G. *Die untersynchrone Stromrichterkaskade*. In: Techn. Mitt. AEG-Telefunken 63 (1973) nr. 5, p. 188—193.
[14] Siemens — Drehstromantriebe SIMOVERT-C- Umrichter, SIMOVERT-C-Antriebe. Katalog DA61. 1984
[15] Meyer, A. *La cascade de convertisseur statique hyposynchrone, compte tenu des réactions sur le réseau et des couples oscillatoires*. In: Revue Brown Boveri 69 (1982), nr. 4/5 p. 133—141.
[16] Scharpenberg, H., Streck, A. *La cascade de convertisseur statique hyposynchrone pour grosses pompes centrifuges*. In: Revue Brown Boveri (1982), nr. 4/5, p. 142—150.
[17] Kipke, M. *Besonderheiten beim Bemessen des Drehstrom-Asynchronmotors einer untersynchronen Stromrichterkaskade*. In: Siemens Z. 49 (1975), nr. 2, p. 99—102.
[18] Nitschke, H. J., Siepmann, V. *Drehzahlvariable Antriebe in Elektrizitätswerken*. Publicație a firmei AEG — Telefunken A451.8.5/0282.
[19] Waltschew, A. *Stromrichterantriebe im Zementwerk* — Siemens — Antriebstechnik mit System, p. 85—88.
[20] AEG-TELEFUNKEN — *MONOVERTER zur Drehzahlverstelung von Drehstrom-Normmotoren* (Prospect E44-V3-6.2/0279).
[21] BBC — VERITRON — *Antriebsumrichter Typenreihe PWK Dreiphasen-Anschluss 4,5 kVA-19 kVA* (Prospect DHS51042 D).
[22] BBC — VERITRON — *Antriebsumrichter Typenreihe TWK-S 1,5 kVA-171 kVA* (Prospect DAT 500185aD).
[23] Electrotehnica — *Acționări de c.a. cu convertizoare statice de frecvență CSFV, VGCFI, CSFS* (Prospect).
[24] Kloss, A., Heinrich, S. *Le moteur à cage de puissance moyenne avec convertisseur du courant*. In: Revue Brown Boveri 69 (1982) nr. 4/5, p. 163— 169.

(Primit la 14 noiembrie 1987, acceptat la 4 ianuarie 1988

Acționări electrice reglate de putere cu motoare sincrone comandate prin convertizoare statice de frecvență

Ing. Ion Dan, ing. Viorica Șerbu, ing. Constantin Zamfirescu, ing. Dan Tomozei, ing. Cristian Gheorghiu*

Descriptori: acționări cu turație variabilă, motoare sincrone, convertizoare statice

Introducere

Acționările cu viteză variabilă au constituit dintotdeauna o atracție pentru utilizatori, datorită în primul rînd faptului că permit o adaptare optimală a regimului de viteză la cerințele procesului tehnologic și în al doilea rînd faptului că aduc o reducere sensibilă a consumului de energie. Spre exemplu, în sistemele de pompare și ventilație acționate cu motoare cu turație constantă (asincrone sau sincrone) reglarea debitului de fluid se face prin strangulare sau derivare (by-pass), ceea ce reprezintă în final pierdere de energie. Acționările cu viteză reglabilă permit reglarea debitului prin reglarea turației motorului, în limite largi și fără pierderi. În aceste aplicații consumul de energie poate scădea cu mai mult de 20%.

Motorul de curent continuu a fost primul și, un timp, singurul care a dat satisfacție din acest punct de vedere.

Limitările impuse de construcția motorului de c.c., în ceea ce privește puterea și turația, ca și faptul că existența colectorului împiedică utilizarea acestuia în medii speciale, poluate sau fără posibilități de acces pentru întreținere, au îndreptat atenția spre mașinile de c.a.

Progresele realizate în electronica de putere, electronica informațională și în teoria schemelor convertizoarelor de frecvență au permis elaborarea unor sisteme de acționare cu motor sincron alimentat cu convertizor static de frecvență.

În acest fel, acționările cu motor sincron comandat prin convertizor static de frecvență întrunesc calitățile acționărilor cu motor de c.c. în ceea ce privește posibilitatea de control al cuplului și turației, fără a fi supuse servituților impuse de colectorul mecanic al mașinii

* Ing. Ion Dan, ing. Viorica Șerbu, ing. Constantin Zamfirescu, ing. Dan Tomozei, ing. Cristian Gheorghiu — Institutul de Cercetări pentru Industria Electrotehnică, București.

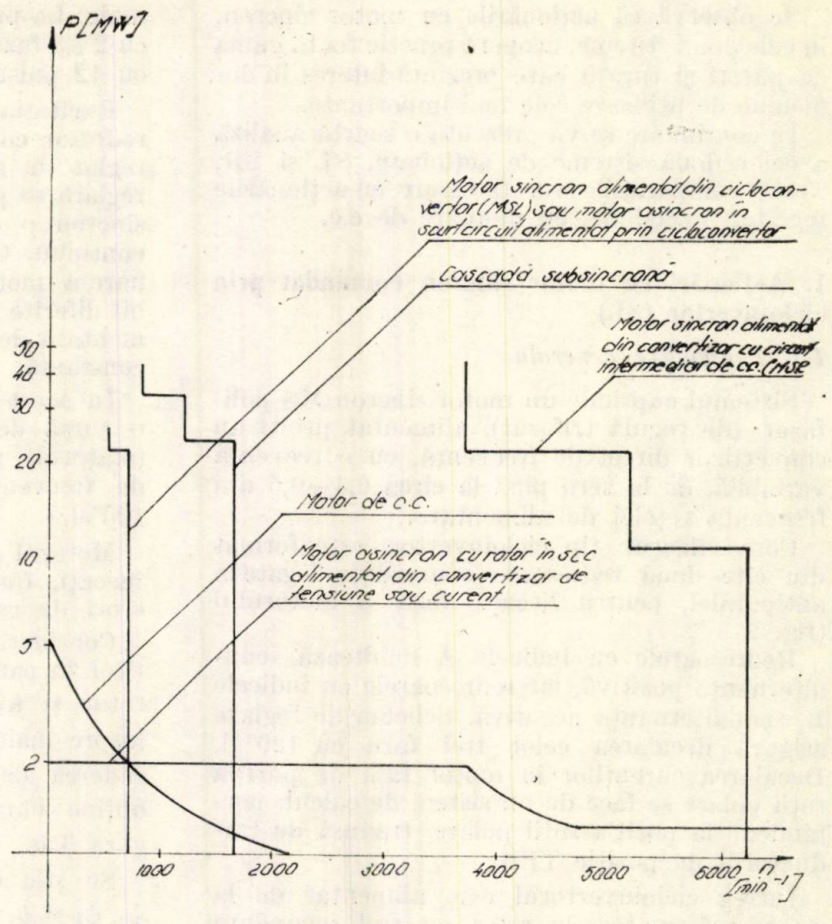


Fig. 1. Domeniile de putere-turaţie ale sistemelor de antrenare cu viteză variabilă.

de c.c. sau limitărilor de putere şi turaţie a acestor maşini.

Acţionările reglate cu motoare sincrone se dovedesc astăzi fără concurent în domeniile de puteri mari şi foarte mari şi, de asemenea, la turaţii foarte mari sau foarte mici; ele permit antrenarea directă a agregatelor fără transmisii intermediare cu multiplicatoare sau respectiv reductoare mecanice.

Dacă pe piaţa mondială volumul anual de desfacere al acţionărilor în c.c. a rămas oarecum constant sau chiar are tendinţe de scădere, producţia de acţionări reglate în c.a. creşte cu o cotă anuală de circa 30%.

În tehnica acţionărilor cu motoare sincrone s-au impus două sisteme de bază :

A. Sisteme de acţionare cu motor sincron comandat prin convertizor direct de frecvenţă de tip cicloconvertor, destinat domeniului de puteri mari, de la 1,5—2 MW în sus, şi la turaţii mici. Acţionări cu MS lent (SL).

B. Sistem de acţionare cu motor sincron comandat prin convertizor de frecvenţă cu circuit intermediar de curent continuu destinat domeniului de puteri medii, mari şi foarte mari, de la 0,5 MW în sus, şi la turaţii foarte mari, la limita posibilităţilor maşinilor electrice. Acţionările cu MS rapid (SR).

În figura 1 sînt reprezentate limitele de putere şi turaţie ale diferitelor sisteme de acţionare, respectiv acţionări în c.c., acţionări cu motor sincron lent, acţionări cu motor sincron rapid şi acţionări cu motoare asincrone.

În rezumat, limitele de P şi n şi domeniul de competitivitate al diverselor sisteme de acţionare se prezintă astfel :

— acţionările în c.c. ocupă un domeniu limitat de produsul Pn pînă la circa 5 MW la aproximativ 100 rot/min şi de 1 MW la circa 2000 rot/min ;

— acţionări cu MS lent (SL) de la circa 2 MW pînă la puteri foarte mari, nelimitat în sus, şi turaţii pînă la circa 6—700 rot/min. Motorul este alimentat cu frecvenţă variabilă de la zero la circa 20—25 Hz. Se utilizează în general motoare cu număr mare de poli ;

— acţionările cu MS rapid (SR) de la circa 0,5 sau 2 MW pînă la puteri nelimitate şi turaţii pînă peste 5000 rot/min. Motorul este alimentat cu frecvenţă variabilă de la zero pînă la circa 100 Hz. Se utilizează în general motoare cu un număr mic de poli ;

— acţionările cu motor asincron cu rotor în scurtcircuit, alimentate prin convertizor de frecvenţă cu comutaţie forţată se realizează astăzi pînă la puteri de 2 MW ;

— acţionările cu motor asincron cu rotor bobinat, în cascadă subsincronă, sînt realizabile la puteri mari şi turaţii medii, în utilizări cu domeniu relativ restrîns de variaţie a vitezei.

Se observă că acționările cu motor sincron, în cele două sisteme, acoperă practic toată gama de puteri și turații care prezintă interes în domeniile de utilizare cele mai importante.

În continuare se va prezenta o scurtă analiză a celor două sisteme de acționare, SL și SR. Toate comparațiile vor fi făcute cu acționările reglate, reversibile, cu motoare de c.c.

1. Acționări cu motor sincron comandat prin cicloinvertor (SL)

1.1. Prezentare generală

Sistemul cuprinde un motor sincron MS polifazat (de regulă trifazat), alimentat printr-un convertizor direct de frecvență, cu o frecvență variabilă, de la zero pînă la circa 0,4—0,5 din frecvența rețelei de alimentare.

Convertizorul tip cicloinvertor este format din cîte două redresoare comandate legate în antiparalel, pentru fiecare fază a motorului (fig. 2).

Redresoarele cu indicele A debitează semialternanța pozitivă, iar redresoarele cu indicele B, semialternanța negativă. Schema de reglare asigură decalarea celor trei faze cu 120° el. Decalarea curenților în motor față de poziția roții polare se face de un sistem de calcul, pornind de la poziția roții polare, tradusă de traductorul de poziție TPN.

Întreg cicloinvertorul este alimentat de la un transformator de rețea cu trei secundare (vezi fig. 2) sau de la trei transformatoare normale. La puteri mai mari se utilizează motoare cu 2 ×3 faze și o schemă de convertizor adecvat cu 12 pulsuri ($p = 12$).

Excitația motorului este alimentată printr-un redresor comandat, curentul de excitație fiind reglat de sistemul de calcul. Prin schema de reglare se poate ajunge să se confere motorului sincron o caracteristică de mașini de curent continuu. Caracteristicile și modul de funcționare a motorului în acest regim sînt considerabil diferite de cele ale unei mașini sincrone alimentată de la o rețea de tensiune și frecvență constantă.

În acest sistem se tratează convertizorul ca o sursă de curent, care alimentează indusul (statorul) mașinii cu trei curenți sinusoidali, de frecvență variabilă, decalați între ei cu 120°el.

Motorul se poate trata ca o mașină cu poli înecați, fără ca prin aceasta să se introducă erori de calcul prea mari.

Considerînd un sistem de coordonate învîrtitor în care axa „d" coincide cu axa polului rotor și axa „q" perpendiculară pe aceasta, înspre înainte, și neglijînd fluxul de scăpări și căderea de tensiune în rezistența stator, se obține cunoscuta diagramă fazorială din figura 3 *a*.

Se știe că triunghiul format din fluxurile ψ_I, ψ_E și ψ (fluxul rezultant în mașină) exprimă cuplul motorului.

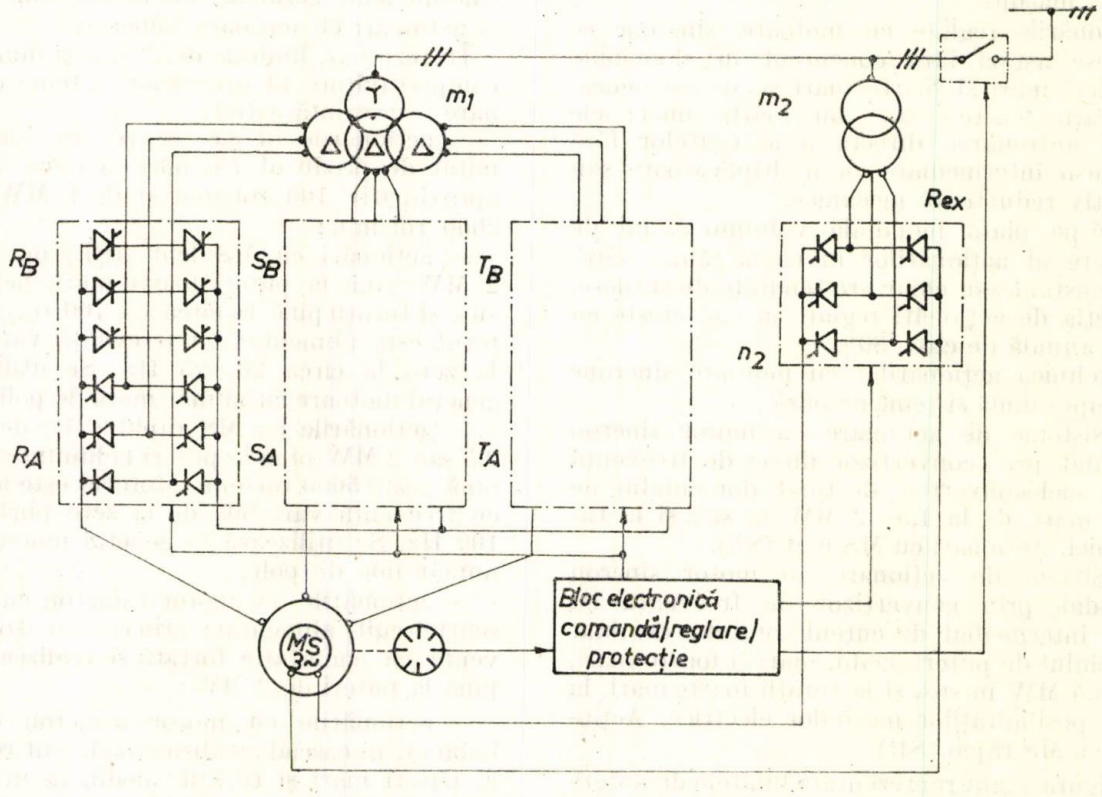


Fig. 2. Schema de principiu a acționării cu MSL.

Rezultă deci că, pentru ca mașina să dezvolte un cuplu egal cu cuplul rezistent, schema de reglare trebuie să controleze următoarele mărimi :

— curentul de excitație $I_E(\psi_E)$;

— amplitudinea curentului în stator I (ψ_I);

— unghiul α între vectorul fluxului ψ_I stator și axa polului rotor (axa d).

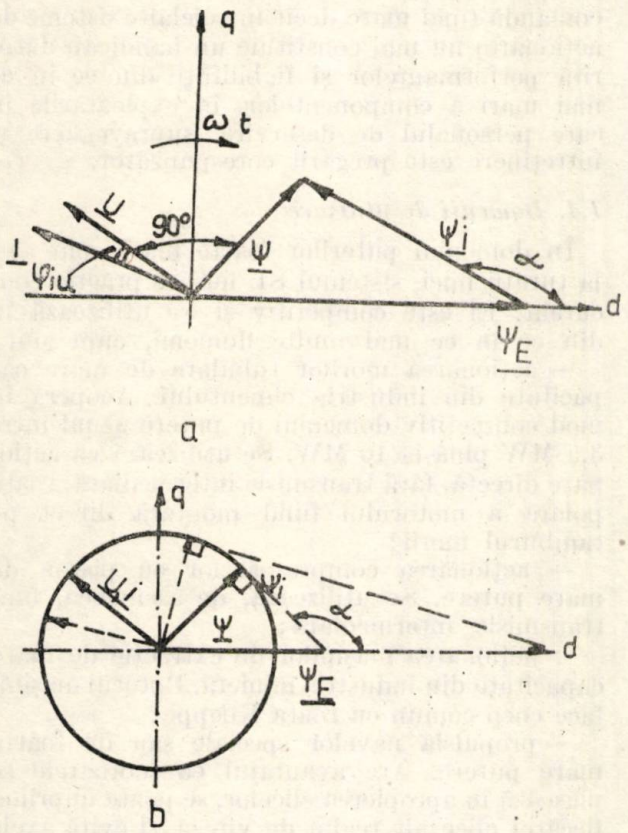


Fig. 3. Diagrama fazorială a motorului sincron: a — diagrama generală; b — diagrama în cazul $\psi = \psi_N$; $\psi_{iu} = 0$; ψ_i — flux statoric; ψ_E — flux de excitație; ψ — flux rezultant; α — unghiul dintre ψ și ψ_E.

Analogia cu mașina de c.c. este :

— curentul de excitație al motorului sincron I_E corespunde cu curentul de excitație al mașinii de c.c. ;

— amplitudinea curentului I în statorul motorului sincron corespunde cu curentul în indusul mașinii de c.c. ;

— unghiul α rezultat prin sistemul de reglare se obține în mașina de c.c. prin poziția de calare a periilor.

Convertizorul fiind considerat ca o sursă de curent, este necesar ca mărimea de reglare să fie amplitudinea I a curentului în stator, iar curentul de excitație I_E și unghiul α între cîmpul stator ψ_I și cîmpul de excitație ψ_E să fie mărimi comandate.

Acționînd asupra celor trei mărimi, schema de reglare va asigura cuplul motor în condiții optime de utilizare a mașinii și a convertizorului, și anume :

— factor de putere al mașinii egal cu 1 ;

— fluxul ψ în motor constant și egal cu fluxul nominal la orice turație.

În aceste condiții diagrama din figura 3 *a* se transformă în diagrama 3 *b*, în care ψ_I și ψ sînt decalate cu 90° el.

Acest sistem de comandă, relativ mai simplu, cunoscut și ca „model de flux static" a fost aplicat de autori la acționările de 5,5 MW din Industria Cimentului și Minereurilor. Pentru acționări de acest tip, la care se cer performanțe dinamice superioare, cu șocuri mari de sarcină și reversări bruște de cuplu, se pregătește un alt sistem de comandă „model de flux dinamic" un sistem care rezolvă în fiecare moment ecuațiile de stare a mașinii, plecînd de la mărimile electrice U și I măsurabile.

1.2. Particularitățile motorului

Motorul este în general de construcție normală, ca orice mașină sincronă. Avînd în vedere faptul că frecvența tensiunii de alimentare este sub frecvența rețelei, condițiile impuse circuitului magnetic sînt mai ușoare.

Adaptarea economică a motorului la domeniul de turații cerut se realizează în oarecare limite prin alegerea numărului de poli și a frecvenței.

Dat fiind că motorul este autocomandat și își prescrie singur frecvența nu apar oscilații ale roții polare ca în cazul motorului sincron clasic legat direct la barele rețelei de alimentare și deci nu este necesară, în general, înfășurarea de amortizare.

Aceasta se utilizează numai în aplicațiile unde se cere o comportare dinamică deosebită.

Turația mică, de ordinul a 14—15 rot/min și condițiile de montaj conduc la un rotor cu diametru mare, cu număr mare de poli aparenți (40,44 sau chiar 56 poli). Frecvența este, de asemenea, redusă, de ordinul a 5 Hz.

Statorul mașinii este realizat după o tehnică similară cu a hidrogeneratoarelor.

Ar mai fi de menționat faptul că la aceste motoare cu diametru mare, întrefierul este de asemenea mare, de ordinul a 14—20 mm, și în consecință și excitația necesită putere mult mai mare decît în cazul mașinilor sincrone clasice de aceeași putere.

Motorul se dimensionează la o tensiune nominală de compromis între o tensiune avantajoasă din punctul de vedere al motorului și al convertizorului.

Din punctul de vedere al motorului, ar fi avantajoasă la aceste puteri tensiunea de ordinul a 6 kV, pe cînd convertizorul, pentru a nu se recurge la montarea în serie a tiristoarelor, cere tensiuni mai mici.

Spre exemplu, în acționările cu convertizoare fără tiristoare în serie, tensiunea motorului este de ordinul 1000—1500 V_{ef} între faze. La acționările de puteri mai mari, de ordinul a 10 MW sau mai mult, este necesar să se adopte tensiuni mai mari (2,4 sau 5kV), recurgîndu-se la așa-zisele

„convertizoare de tensiune medie" cu tiristoare în serie, răcite, de regulă, cu apă deionizată sau cu ulei și comandate optoelectric prin cablu cu fibre optice.

1.3. Avantaje tehnice și economice

Acționările de tip SL prezintă față de acționările în c.c. avantajul principal că pot fi utilizate în domeniul puterilor foarte mari, la turații mici, în condiții de mediu poluat unde colectorul nu dă satisfacție. Construcția mașinii sincrone de mare putere permite asamblarea părților componente la locul de montaj, pe șantiere, ceea ce nu este posibil în cazul mașinii de c.c.

La prima vedere sistemul de acționare SL pare dezavantajos, pe de o parte datorită faptului că fiind vorba în general de mașini de turație mică, acestea sînt voluminoase și grele, iar pe de altă parte, datorită faptului că convertizoarele sînt mai mari și conțin un număr mai mare de tiristoare decît în cazul acționărilor în c.c. sau SR de aceeași putere.

O analiză mai aprofundată însă scoate în evidență următoarele :

— motorul are un preț mai mic pe kilogram, deoarece este o construcție mai simplă, iar circuitul magnetic funcționează la frecvențe mai mici decît la mașinile clasice ;

— supradimensionarea convertizoarelor se atenuează, ca pondere, la puteri mari, datorită faptului că sistemul permite transmisii directe, cu renunțarea la reductoare mecanice, echipamente foarte costisitoare.

În rezumat, avantajele sistemului sînt :

— acoperă domeniul de turație — putere în care mașina de c.c. nu poate fi utilizată. Domeniul de putere în sus este practic nelimitat ;

— permite renunțarea la transmisia intermediară cu reductor mecanic, avantaj major în toate domeniile de utilizare, dar mai ales la agregatele de turație mică și putere mare (de exemplu la morile tubulare din industria cimentului și măcinarea minereului) ;

— permite montarea roții polare, în unele cazuri, direct pe agregatul acționat, renunțîndu-se astfel la arborele pe lagărele proprii, indispensabile la orice alte mașini (spre exemplu în acționarea morilor din industria cimentului, roata polară se montează direct pe tamburul morii) ;

— permite reglarea turației continuu la valori stabilite după criteriul de optimizare al procesului tehnologic ;

— permite funcționarea în patru cadrane, respectiv în două sensuri de mers și două de frînare, cu recuperarea energiei în rețea ;

— asigură pornirea lentă, cu cuplu controlat, fără șocuri mecanice și fără șocuri de curent în rețea ;

— randamentul global mare, peste 90% ;

— oferă siguranță mare în exploatare și disponibilitate mare datorită diminuării elementelor mecanice (reductoare) sau electromecanice (contactoare, demaroare etc.), toate elemente cu piese în mișcare și supuse uzurii ;

— costul de întreținere redus, datorită lipsei pieselor de uzură cu viață limitată. Aparenta complexitate a echipamentului electronic de comandă (mai mare decît în celelalte sisteme de acționare) nu mai constituie un handicap datorită performanțelor și fiabilității din ce în ce mai mari a componentelor, în exploatările în care personalul de deservire, supraveghere și întreținere este pregătit corespunzător.

1.4. Domenii de utilizare

În domeniul puterilor foarte mari, mai ales la turații mici, sistemul SL nu are practic concurent. El este competitiv și se utilizează în din ce în ce mai multe domenii, cum sînt :

— acționarea morilor tubulare de mare capacitate din industria cimentului. Acoperă în mod competitiv domeniul de putere uzual între 3,5 MW pînă la 10 MW. Se utilizează ca acționare directă, fără transmisie intermediară, roata polară a motorului fiind montată direct pe tamburul morii ;

— acționarea compresoarelor cu piston de mare putere. Se utilizează, de asemenea, fără transmisie intermediară ;

— acționarea mașinilor de extracție de mare capacitate din industria minieră. Rotorul mașinii face corp comun cu roata Koeppe ;

— propulsia navelor speciale sau de foarte mare putere. Are avantajul că motoarele se plasează în apropierea elicelor, se poate imprima fiecărei elice alt regim de viteză, și evită axele de transmisie lungi și costisitoare ;

— acționări de extrudare, malaxoare pentru industria chimică. Domeniu de utilizare caracterizat în general prin cupluri tranzitorii mari, mai ales la pornire, mediu foarte poluat, periculos și agresiv ;

— acționarea laminoarelor reversibile.

1.5. Exemple de realizări mai importante

Primele aplicații și cele mai reprezentative au fost în industria cimentului sau similare unde s-au utilizat mașini de putere mare și turație mică, alimentate la frecvență relativ redusă.

În țară s-au conceput și executat de ICPE și Electrotehnica, 19 acționări de acest tip, din care 15 buc. de 5,5 MW la 14 rot/min și 4 buc. de 4 MW la 11 rot/min. Prin aceasta sîntem, împreună cu firmele Brown Boveri și Siemens, singurii trei producători din Europa.

În domeniul acționărilor de dispozitive de extrudere și malaxoare pentru industria chimică, se cunoaște din literatură :

— acționare de 810 kW, 75—110 rot/min ; 5—7,3 Hz ; cuplul de pornire = 2 × Mn ;

— acționare de 1470 kW; 250 rot/min; 8,33 Hz; Mp = 2 × Mn.

În domeniul propulsiei de nave:

— o acționare (în stadiu de proiect) pentru o navă specială cu o putere instalată de 100 MW;

— puterea motorului sincron 30 MW —120 rot/min cu șase faze; 12 perechi de poli;

— tensiunea pe faza motorului 5 kV_{ef};

— frecvența de lucru 16 Hz;

— alimentarea convertizoarelor direct de la rețeaua de distribuție a navei, fără transformator.

2. Acționări cu motor sincron comandat prin convertizor static de frecvență cu circuit intermediar de curent continuu (sistem SR)

2.1. Principiul de funcționare

Acest sistem de acționare concurează sistemele cu motor de c.c. în domeniul puterilor pînă la cîțiva MW și se aplică în exclusivitate în domeniile în care motorul se află într-un mediu puternic poluat (de exemplu morile de cărbune din centralele termoelectrice) sau cînd este plasat în condiții ce exclud posibilitatea de intervenție sau reparare.

Acționările de foarte mare putere, de peste 10 MW, cum ar fi cele utilizate pentru lansarea grupurilor hidroelectrice cu pompare, a compensatoarelor de foarte mare putere sau acționările de puteri de cîțiva MW și turații mari nu se pot realiza în mod competitiv decît cu mașini sincrone.

Schema de acționare (fig. 4) comportă un convertizor cu funcționare în patru cadrane (două sensuri de mers și două de frînă), format din două mutatoare în punte trifazată complet comandată, cu comutație naturală, cuplate pe partea de curent continuu prin inductanță de netezire. În regim de motor, mutatorul R1 de pe partea de rețea funcționează ca redresor iar cel de pe partea de motor ca invertor. În regim de frînă cele două mutatoare își schimbă rolurile, tensiunea din circuitul de c.c. își schimbă semnul, dar sensul curentului rămîne același. Energia este transferată de la mașină în rețeaua de c.a. Schimbarea sensului de rotație se face prin schimbarea succesiunii comenzii în cele trei faze ale mutatorului R2.

La pornire, în domeniul turațiilor mici, pînă la 5% din turația nominală, mutatorul R2 de pe partea de motor funcționează în regim de curent întrerupt, comandat de la mutatorul R1 de pe partea rețelei.

După cum se știe, acest sistem de acționare generează pulsații de cuplu în mașină. Se poate obține o mărire a frecvenței pulsațiilor și o micșorare a amplitudinii lor prin mărirea numărului de faze al mașinii.

Se obișnuiește, mai ales la acționările de mare putere, utilizarea unor motoare cu două înfășurări independente în stea, decalate cu 30° spațial și alimentate de la sisteme decalate cu 30° electric.

În acest caz lanțul de alimentare mutator rețea — mutator motor se alcătuiește într-un sistem cu douăsprezece pulsuri.

Sistemul de 12 pulsuri se obține cu două motoare în punte trifazată legate în serie sau în paralel.

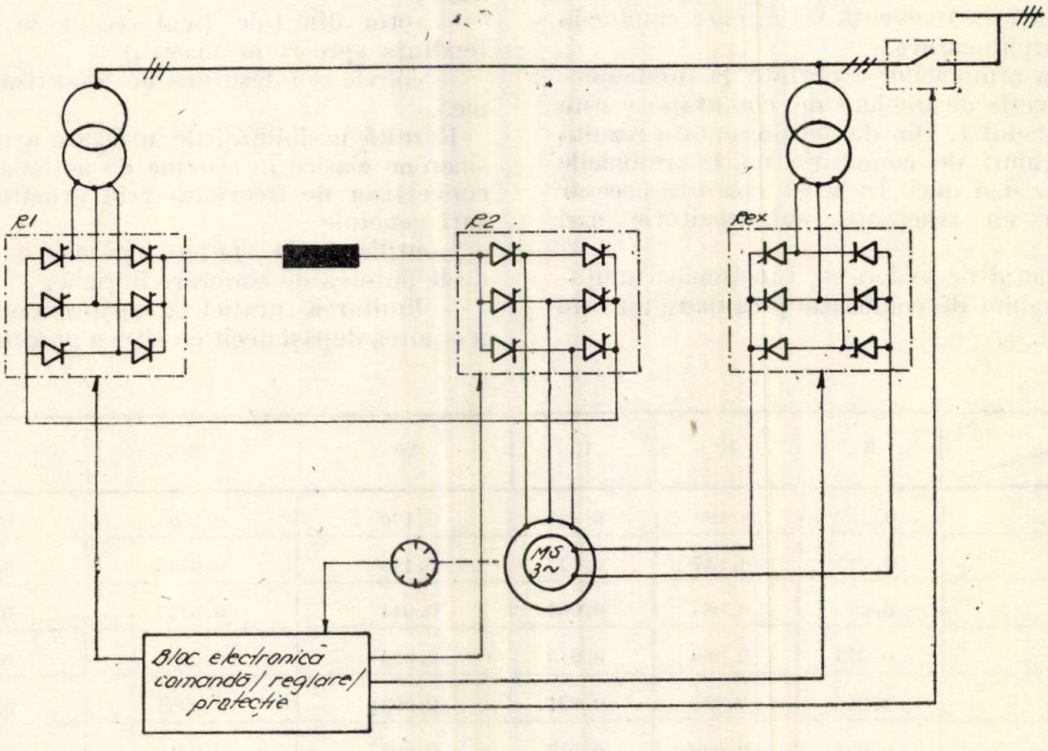


Fig. 4. Schema de principiu a acționării cu MSR.

Reglarea pe stator se face cu ajutorul mutatorului R1 de pe partea de rețea care funcționează ca generator de curent, mutatorul R2 îndeplinind funcția de distribuitor.

Pentru asigurarea de către mașină a energiei de comutație a mutatorului R2, motorul funcționează în regim capacitiv cu $\cos \varphi = 0{,}75 - 0{,}8$.

2.2. Particularitățile motorului sincron

Motorul sincron utilizat este, în general, o mașină de turație mare. Frecvența de alimentare poate să meargă pînă la 100 Hz și chiar mai mult. Din punct de vedere constructiv motorul este foarte asemănător cu un motor clasic, cu precizarea că la proiectarea lui se ține seama de solicitările speciale la care este supus circuitul electric și magnetic datorită condițiilor de funcționare cu curenți deformați.

În ceea ce privește sistemul de excitație, motorul fără perii valorifică cel mai bine avantajele acestor acționări pentru funcționare în medii poluate, deși din punct de vedere dinamic sînt mai puțin avantajate decît sistemele clasice ale excitației prin inele colectoare și perii, fapt care nu este supărător pentru majoritatea utilizărilor.

Forma curenților în înfășurările stator este trapezoidală, flancurile trapezului fiind rezultatul unghiului de comutație (suprapunere) γ, care depinde de curentul de sarcină și de reactanța subtranzitorie a motorului.

Acest curent conține în schemele de mutatoare cu 6 pulsuri, care sînt cele mai frecvent utilizate, armonici de ordinul $6K \pm 1$.

Armonicile generează prin inducție în fierul stator curenți cu frecvența $6 f K \pm 1$, iar în rotor curenți cu frecvența $6 f K$, care conduc la încălziri suplimentare.

Valoarea armonicilor raportate la fundamentală în funcție de unghiul de comutație γ este dată în tabelul 1. Din datele prezentate rezultă că la unghiuri de comutație mari armonicile sînt relativ mai mici. În acest caz este necesar un motor cu reactanța subtranzitorie mai mare.

Din punctul de vedere al funcționării mutatorului unghiul de comutație prea mare nu este convenabil.

Se stabilește prin proiectare un compromis: Unghiul $\gamma = 10 - 15°$ pentru performanțe superioare, însă cu motor mai greu și mai scump (cu rectanțe subtranzitorii mai mici de ordinul 5% și pierderi mai mari) sau normal, $\gamma = 20° - 25°$. Pentru a reduce curenții induși în rotor de armonicile superioare este necesar, pe de o parte, să se crească întrefierul, iar pe de altă parte să se prevadă o colivie — înfășurare de amortizare — plasată cît mai aproape de întrefier. Această colivie există și la mașinile sincrone clasice, unde are rolul de a amortiza pendulările.

Cuplul dezvoltat de motor

Datorită formei trapezoidale a curentului în motor apar cupluri pulsatorii cu frecvență $6f$ a căror valoare poate atinge 10 — 15% din valoarea cuplului mediu.

Prin utilizarea unor motoare cu două înfășurări trifazate în stea, decalate cu 30° el. între ele și alimentate de la două mutatoare independente de 6 pulsuri decalate între ele cu 30° el., frecvența cuplului pulsatoriu crește la $12f$, iar valoarea scade sub 5% din valoarea cuplului mediu. Cuplul pulsatoriu este puternic redus de înfășurarea de amortizare.

În concluzie, un motor sincron alimentat prin convertizor de frecvență în sistemul SR (cu circuit intermediar de c.c.) se caracterizează prin:

— supradimensionare, datorită pierderilor suplimentare de 10 — 12%;

— întrefier puțin mai mare;

— ancoșe de înălțime mai mică și conductoare elementare de secțiune și înălțime mai mică;

— rotor din tole (mai recent se manifestă tendința spre rotor masiv;)

— colivie — înfășurare de amortizare puternică.

Rezultă posibilități de utilizare a motoarelor sincrone clasice în sisteme de acționare SR cu convertizor de frecvență prin următoarele măsuri generale:

— utilizarea la o putere mai mică cu 10 — 15% decît puterea de timbrare inițială;

— limitarea turației la turația nominală fără a o putea depăși decît cu cîteva procente;

Tabelul 1

I/I_1 \ γ [°]	3	10	15	20	25	30
I_5/I_1	0,2	0,196	0,187	0,176	0,160	0,149
I_7/I_1	0,145	0,137	0,124	0,110	0,094	0,076
I_{11}/I_1	0,09	0,082	0,063	0,044	0,0257	0,0082
I_{13}/I_1	0,075	0,066	0,045	0,026	0,0082	0,0059
I_{17}/I_1	0,057	0,045	0,021	0,0034	0,0055	0,0012
I_{19}/I_1	0,05	0,039	0,013	0,0027	0,001	0,0001

— întărirea sistemului de ventilaţie pentru a evacua pierderile suplimentare care apar. Se impun numai sisteme de răcire, independente de turaţia maşinii.

2.3. Avantajele tehnice şi economice

Principalele avantaje ale acţionării reglate cu motor sincron rapid sînt :

— permit puteri foarte mari (nelimitat în sus) şi, în acelaşi timp, turaţii mari. Limitele de putere şi turaţie sînt impuse de posibilităţile de realizare ale motoarelor. În figura 5 sînt date limite atinse pentru maşini. În acest fel se poate renunţa la multiplicatoarele mecanice în domenii de interes maxim ;

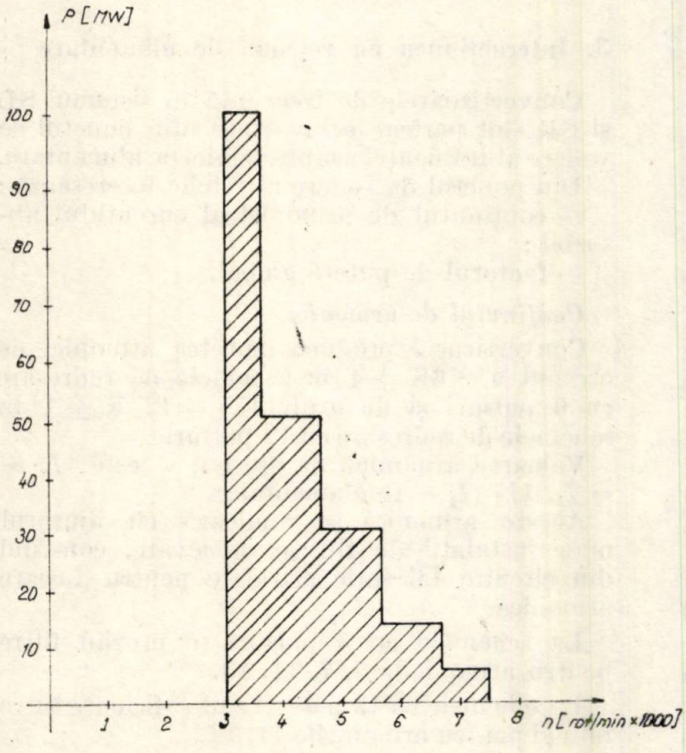


Fig. 5. Diagramă putere-turaţie ($P-n$) pentru maşini sincrone.

— permit utilizarea maşinii sincrone fără perii, singura acceptată în condiţii de mediu deosebit de grele, cu pericol de explozie, ori în instalaţii în care accesul la motor este dificil sau chiar imposibil ;

— asigură un domeniu larg de reglare a turaţiei şi adaptare optimă la cerinţele procesului tehnologic ;

— asigură funcţionarea în patru cadrane, respectiv două sensuri de mers şi două de frînă cu recuperarea energiei în reţea. Trecerea de la un sens de mers la altul, sau de la mers la frînă se face numai din schimbarea comenzilor la mutatoarele comandate, fără nici un aparat de comutaţie ;

— asigură pornirea lentă, cu cuplu controlat, fără şocuri mecanice şi fără şocuri de curent în reţea ;

— randament global superior ;

— siguranţă mare în exploatare şi disponibilitate mare datorită lipsei reductorului mecanic şi a altor piese de uzură.

La prima vedere sistemul de acţionare SR ar apărea dezavantajos prin faptul că comportă un echipament electronic de comandă-reglare mai sofisticat. O analiză mai aprofundată, însă, scoate în evidenţă următoarele :

— echipamentele cu ponderea de preţ cea mai mare, respectiv convertizoarele, nu sînt mai voluminoase, nu necesită tiristoare mai multe şi nu sînt mai scumpe decît la acţionările reversibile de c.c. de aceeaşi putere ;

— electronica de comandă-reglare, care este într-adevăr de cîteva ori mai complicată şi mai scumpă decît la acţionările în c.c., reprezintă aproximativ 10—14% din preţul total al acţionării neintervenind cu o pondere prea mare ;

— motorul sincron comandat prin convertizor nu este sensibil mai scump decît un motor sincron clasic.

Complexitatea echipamentului electronic de comandă nu mai constituie un handicap datorită fiabilităţii din ce în ce mai mari a componentelor, în exploatările în care personalul de deservire, întreţinere şi supraveghere este pregătit corespunzător.

2.4. Domenii de utilizare

Principalele domenii de utilizare sînt :

În industria chimică :

— acţionări de ventilatoare, pompe şi compresoare de mare putere cu turaţie ridicată. Reglarea debitelor se face prin turaţie în loc de laminarea fluidului, ceea ce aduce economii de energie de 20% şi chiar mai mult ;

— acţionări de compresoare şi pompe de foarte mare putere unde înlocuiesc acţionările cu turbine cu gaz sau aburi. Se impun prin randament net superior ;

— acţionări de malaxoare, dispozitive de extrudere şi centrifuge. În general sînt acţionări cu putere medie, fără condiţii deosebite din punctul de vedere al performanţelor dinamice, însă cu condiţii de funcţionare în atmosferă foarte poluată, periculoasă şi agresivă. În acest domeniu utilizarea maşinii de c.c. este exclusă datorită colectorului ;

— utilizarea ca grup de lansare în staţii complexe, cu mai multe compresoare acţionate cu motoare sincrone clasice funcţionînd în paralel.

În domeniul centralelor termoelectrice şi nucleare :

— acţionarea pompelor de alimentare cu apă. Se cer puteri de 4—8 MW la turaţia 3000—6000 rot/min ;

— acţionări de ventilatoare cu puteri pînă la 3—4 MW ;

— acţionări de mori de cărbune cu puteri pînă la 1—2 MW ;

— acționări de pompe în centrale nucleroelectrice (în special pompe de sodiu).

În domeniul centralelor hidroelectrice :

— demaroare statice ale grupurilor turbopompe în centralele cu pompare.

Alte aplicații :

— concasoare în industria cimentului;
— convertoare mari;
— standuri de încercări;
— lansări de compensatoare sincrone mari;
— acționări de laminoare continui;
— propulsie de nave.

Citățm, din literatură, cîteva exemple de realizări mai importante :

CKD

Acționare de turbocompresoare pentru pompare de gaze naturale (1985) :

- putere 25 MW
- turație 3700 rot/min (2600—3900)
- tensiune motor 10,5 kV
- frecvență 0—65 Hz
- motor două înfășurări în stea decalate la 30° el. (dodecafazat)

JEUMONT SCHNEIDER

Două acționări pentru rafinăria L'ELF la Feyzin lîngă Lyon :

— prima acționare :
- putere 14,2 MW
- turație 0—5100 rot/min (4200—5100)
- frecvență (0—85) Hz

— a doua acționare :
- putere 12,7 MW
- turație 0—4210 rot/min (3400—4210)
- frecvență 0—70 Hz

— Două acționări pentru stand încercări compresoare pentru Societatea Creusot Loire :
- putere motor 12 MW
- turație 3600 rot/min
- tensiune motor 6600 V
- conectare directă la rețea 6 kV

— O acționare pentru mașină de extrudare de mare putere :
- putere 2500 kW
- tensiune nominală 1300 V
- frecvență 0—58,5 Hz
- turație 0—1170 rot/min

SIEMENS

Sistemul SIMOVERT-S
Serie între 1000—18 000 kW
Pentru : — compresoare
— ventilatoare
— mașini de extrudare
— benzi transportoare
— pompe de alimentare a cazanelor

TOSHIBA

Sistemul MF PACK-μ/A500

GEC — Anglia

Sistemul SYNCRDRIVE

ICPE București

— Două acționări pentru turbocompresoare pentru IMGB :
- putere unitară 3 MW
- turație 0—1500 rot/min
- frecvență 0—75 Hz
- tensiune motor 1000 V

— Două acționări pentru stand echilibrare IMGB :
- putere unitară 4 MW
- turație 0—1500 rot/min
- frecvență 0—75 Hz
- sistem de reglare digital de precizie.

3. Interacțiunea cu rețeaua de alimentare

Convertizoarele de frecvență în sistemul SL și SR sînt perfect echivalente din punctul de vedere al influenței asupra rețelei de alimentare.

Din punctul de vedere al rețelei interesează :

— conținutul de armonici al curentului absorbit;

— factorul de putere global.

Conținutul de armonici

Convertizorul produce în rețea armonici de ordinul $\nu = 6K \pm 1$ în schemele de redresare cu 6 pulsuri și de ordinul $\nu = 12\ K \pm 1$ în schemele de redresare cu 12 pulsuri.

Valoarea armonicii de ordinul ν este $I_\nu = I_1,\ 1/\nu$ (I_1 — fundamentală).

Aceste armonici se anulează cu ajutorul unor instalații de filtrare adecvate, constînd din circuite **LC** serie acordate pentru fiecare armonică.

La schemele cu 6 pulsuri se prevăd filtre pentru armonicile 5, 7, 11, 13.

La schemele cu 12 pulsuri sînt suficiente filtre numai pentru armonicile 11, 13 .

Factorul de putere

Factorul de putere este maxim cînd mutatorul de rețea este complet comandat, ceea ce ar corespunde regimului de turație maximă și scade cu creșterea unghiului de comandă, respectiv cu scăderea turației.

Concluzii

Acționările reglate în toate domeniile de aplicare, dar mai ales în acționări de pompe, compresoare, ventilatoare, suflante etc. aduc reduceri considerabile de energie.

Acționările reglate cu motor sincron în cele două variante de bază — cu cicloconvertor, sistemul SL — și — cu circuit intermediar de c.c., sistem SR — acoperă, practic, întreg domeniul de turații și puteri peste 0,5 MW, fără limitări în sus și aproape toate domeniile importante de utilizare.

În condiții deosebite de mediu sau în condiții severe în ceea ce privește disponibilitatea în exploatare, aceste sisteme nu au concurent.

Randamentul acționărilor reglate cu mașină sincronă este aproximativ cu 5% mai ridicat decît al oricărui alt sistem de acționare reglată.

Spre exemplu randamentul global la o acționare de 5 MW în sistem SR este de ordinul 95%.

Acționările reglate cu motor sincron în ambele sisteme introduc în rețea armonici de curent de ordinul $6K \pm 1$, respectiv $12K \pm 1$ la fel ca acționările de c.c. sau ca oricare alt mutator comandat alimentat de la rețea. Anularea armonicilor trebuie să se facă cu instalații de filtrare.

Factorul de putere la rețea este maxim la turația nominală și scade aproximativ proporțional cu scăderea turației. Compensarea factorului de putere se face prin mijloacele cunoscute cu condensatoare, cu precizarea ca la dimensionarea acestora să se țină seama de conținutul de armonici al rețelei.

Din punctul de vedere al necesarului de semiconductoare de putere sistemul SR este echivalent cu o acționare reversibilă de c.c., iar sistemul SL implică un consum de componente cu 50% mai mare față de o acționare reversibilă în c.c. echivalentă.

Din punctul de vedere al electronicii informaționale, de comandă-reglare, ambele sisteme sînt mult mai complexe decît acționările în c.c. Dată fiind, însă, ponderea valorică din ce în ce mai mică a echipamentului de comandă și reglare față de întregul echipament (15%—20%) costul lui nu mai constituie un dezavantaj major.

Motorul sincron utilizat în acționările de tip SL este în general o mașină cu număr mare de poli, de construcție simplă, care în majoritatea aplicațiilor nu are nevoie de înfășurare de amortizare.

Motorul sincron în acționările SR se proiectează cu restricții privind circuitul magnetic, forma ancoșelor, secțiunea conductoarelor, materialul rotorului, înfășurarea de amortizare și reactanța subtranzitorie.

În principiu, este posibilă utilizarea motoarelor sincrone obișnuite existente în instalațiile nereglate, alimentîndu-le de la un sistem SR, cu o dimensionare adecvată, cu o reducere a puterii de timbrare cu circa 10—15% și o redimensionare a sistemului de ventilație.

În țară există o experiență apreciabilă în proiectarea și executarea echipamentelor atît în sistemul SL, cît și în sistemul SR.

Bibliografie

[1] Ciofu, V., Dan, I., Șerbu, V., Rădulescu, V. *Sistem de reglare a unei acționări cu motor sincron lent de mare putere alimentat prin convertizor static de frecvență.* In: Electrotehnica, 25, nr. 8, nov. 1977, p. 301.

2] Dan, I., Șerbu, V., Zamfirescu, C. *Acționări reglate de putere cu motoare sincrone comandate prin convertizoare de frecvență. Stadiu și perspective.* Comunicare la Sesiunea Jubiliară ICPE, sept. 1986.

[3] Davidson, D. Y. *Supersynchronous electric motor drives.* In: GEC Journal for industry vol. 2, nr. 2, iunie 1984, p. 63—69.

[4] Hakata, H., Yamakoshi, H., Tatara, S. *Recent Developments and Applications of Ac Variable Speed Drives for Rolling Mill Main Stands.* In: Toshiba Rewiev, nr. 160, Summer 1987.

[5] Finney, D. *The Syncdrive — a synchronous motor variable — speed drive system.* In: GEC Journal for Industry, vol. 3, nr. 3, oct. 1981.

[6] Remy, B. *Les entrainements a vitesse variable par variateurs statiques de frequence. Adaptation des moteurs aux variateurs statiques de frequence.* In: RGE, vol. 87, nr. 10, oct. 1978.

[7] Malherbe, I., Osseland, C. *Les entrainements des turbomachines de grande puissance. Solutions électriques face aux turbines.* In: Rev. Jeumont Schneider, nr. 33, 1982, p. 7—14.

(Primit la 11 noiembrie 1987, acceptat la 8 ianuarie 1988)

Realizări privind echipamentele de acționări reglabile pentru pompe, ventilatoare și compresoare la Institutul de Cercetări Științifice și Inginerie Tehnologică — Mașini, Transformatoare, Aparataj Electric și Întreprinderea Electroputere Craiova

Ing. Vasile Cărășel, ing. Călin Predescu*

Descriptori: acționări cu turație variabilă, pompe, ventilatoare, compresoare

Introducere

Evoluția impetuoasă a electronicii în ultimele decenii a determinat apariția de industrii noi, specialități noi și bineînțeles relații tehnice și economice noi. În acest sens, problema acționărilor reglabile folosind convertizoare statice reprezintă domeniul de aplicare al celor mai noi descoperiri în acest domeniu.

Electroputere Craiova și ICSIT-MTAE, prin profilul polivalent de fabricație ce cuprinde o gamă largă de produse nu putea să nu se adapteze noii conjuncturi.

1. Principii generale

Acționările electrice folosind convertizoare statice s-au extins în așa măsură încît astăzi acoperă întreaga gamă de puteri a mașinilor electrice.

Adoptarea soluției în ceea ce privește tipul de convertizor are în vedere mai multe criterii, dintre care cele mai importante sînt : variația cuplului cu turația, puterea motorului și plaja de modificare a turației.

O clasificare succintă a tipurilor de acționări existente la ora actuală, funcție de aceste criterii, este prezentată în tabelul 1.

2. Acționări folosind motoare de curent continuu cu excitație independentă și redresoare complet comandate

Schema bloc de comandă și reglare este prezentată în figura 1. Aceasta asigură atît reglarea curentului de excitație, cît și tensiunea rotorică. Cu ajutorul potențiometrului **R2**, utilizatorul prescrie curentul de excitație dorit. Regulatorul de curent $\mathbf{RI}_E$ compară curentul de excitație real $\mathbf{I}_{Er}$ dat de traductorul de curent T_{CE} cu valoarea prescrisă $\mathbf{I}_{Ep}$. În urma comparării celor două mărimi, regulatorul $\mathbf{RI}_E$ comandă dispozitivul de comandă pe grila **DCG2**

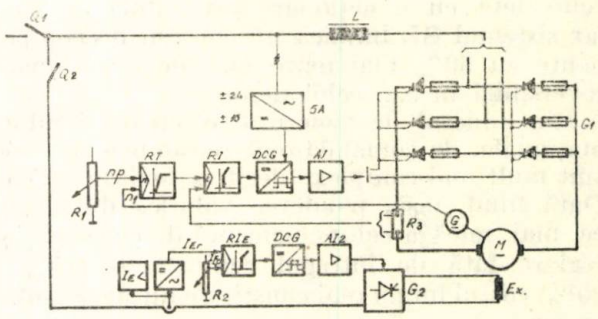


Fig. 1. Acționare curent continuu.

Caracteristici și performanțe ale acționărilor cu viteză variabilă — *Tabelul* 1

Caracteristici / Felul acționării	Gama de puteri	Plaja de modificare a turației	Dependența cupluluide turație	Precizia reglării	Randament	Domeniu de aplicație
Redresor complet comandat și motor de curent continuu	1 kW la 10 MW	1:100	M=Kn M=Kn² M=K/t	0,1%	0,93	Foraj Metalurgie Industria hîrtiei
Cascadă subsincronă și motor asincron cu inele	300 kW la 20 MW	1:3	M=Kn² (preferabil)	1%	0,93	Pompe, ventilatoare Compresoare Centrifuge
Invertor de curent și motor asincron cu rotorul în scurt-circuit	1kW la 1MW	1:20	M=Kn M=Kn² M=K/t	0,5%	0,89	Pompe, ventilatoare Extrudere, centrifuge Compresoare
Redresor complet comandat, invertor și motor sincron	300 kW la 50 MW	1:20	M=Kn M=Kn² M=K/t	0,5%	0,92	Compresoare. Extrudere, pompe, ventilatoare. Toate acționările de medie și mare putere în medii dificile

* Ing. Vasile Cărășel, ing. Călin Predescu — Institutul de Cercetare Științifică și Inginerie Tehnologică — Mașini, Transformatoare și Aparataj Electric, Craiova.

ce va acționa asupra tiristoarelor punții semicomandate de excitație **G2**. Odată asigurat curentul de excitație, se trece la reglarea vitezei prin modificarea tensiunii rotorice folosind de astă dată potențiometrul **R1**. În locul șuntului **R2** pentru reacția regulatorului de curent **RI** se poate folosi un traductor de curent pe partea de curent alternativ.

Ca tip reprezentativ pentru o astfel de acționare se descrie în continuare o instalație pentru un motor de 320 kW, 440 V, curent de pornire $I_p=2{,}5\ I_N$. Desenul de gabarit este prezentat în figura 2.

Tipul motorului este MC1-IC66-530 echipat cu tahogenerator TG3, iar dulapul de acționare are cod DFC-RTY6-001 (FT-0900792). Dulapul cuprinde atît partea de forță, cît și partea de comandă și reglare. Puntea principală **G1** este construită cu tiristoare T700N, protejate de siguranțe de 800A, iar **G2** are în componență

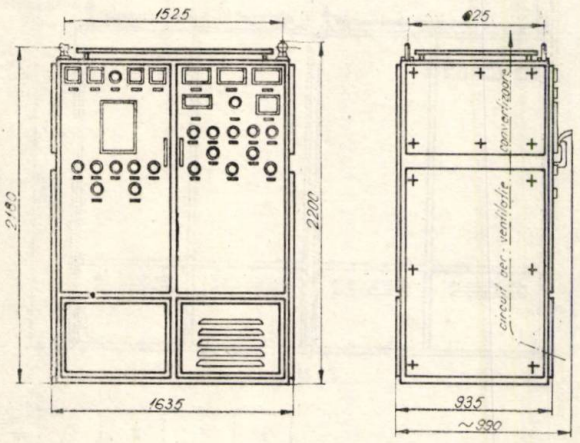


Fig. 2. Desen de gabarit acționare curent continuu.

tiristoare și diode de 63 A. Blocul de excitație constituie un ansamblu de sine stătător, codificat BEC-RMY2-004, iar parta de reglare a punții principale **G** este realizată de sertarul de comandă tip SCR-CCR-01.

În prezent sînt asimilate, la IEPC, instalații de acționare pentru motoare de c.c. pînă la puteri de 850 kW.

3. Acționări electrice folosind cascada subsincronă

Schema bloc de comandă și reglare este prezentată în figura 3. Inițial, pornirea motorului se realizează cu ajutorul reostatului de pornire din circuitul rotoric **R1**. Odată turația minimă a domeniului de reglare atinsă, se cuplează redresorul în circuitul rotoric și se decuplează reostatul.

Curentul rotoric, de frecvență proporțională cu alunecarea motorului, este redresat de **G1**, netezit de **L1** și transformat de **G2** în curent trifazat de frecvența rețelei. Transformatorul de adaptare **Ti** reintroduce acest curent în rețea și servește la adaptarea tensiunii rotorice a motorului asincron **M** la valoarea impusă de rețeaua de alimentare a motorului.

Viteza motorului asincron se reglează, în interiorul domeniului de reglare, cu ajutorul unghiului α de întîrziere la aprinderea tiristoarelor din invertorul **G2**.

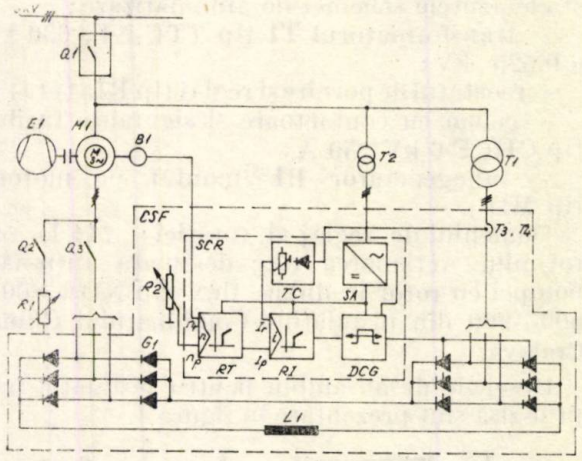


Fig. 3. Acționare cu cascadă subsincronă.

În ceea ce privește reglarea, principiul de funcționare este următorul: după aducerea motorului la viteza cea mai joasă a domeniului de reglaj se conectează convertizoarele și se deconectează reostatul; în continuare, din potențiometrul **R2** utilizatorul stabilește turația dorită, în domeniul de reglare; regulatorul de turație **RT** compară turația reală n_r cu cea prescrisă de utilizator n_p; mărimea de ieșire a regulatorului de turație constituie mărimea prescrisă pentru regulatorul de curent **RI**; mărimea curentului prin convertizoare este tradusă de traductorul de curent **TC** în tensiune continuă și introdusă ca mărime reală în **RI**; în urma comparării celor două mărimi, regulatorul **RI** comandă dispozitivul de comandă pe grilă **DCG**; sertarul de comandă și reglare **SCR** mai are în componență sursa de alimentare, **SA**, pentru **RI**, **RT** și **DCG**.

Schema de automatizare asigură secvențele de pornire (cuplare reostat, cuplare celulă de medie tensiune, accelerare motor pînă la turația minimă a domeniului de reglare, cuplare convertizoare, decuplare reostat), de oprire (invers secvenței de pornire), de oprire și avarie și interblocajele necesare funcționării în siguranță a echipamentului.

De asemenea, echipamentul este conceput să funcționeze în regim de reglaj de turație și fără convertizoare, numai cu ajutorul reostatului de reglaj, care este dimensionat corespunzător, dar cu pierderi de energie în acest caz.

În prezent, este în curs de asimilare la IEPC o astfel de instalație de 1000 kW. Ea se compune din:

— motor asincron tip MIP3 560 × 140—8;

— dulap forță cuprinzînd redresorul necomandat **G1**; invertorul **G2**, întreruptoarele automate **G2** și **G3**, sertarul de comandă și reglare **SCR** și transformatoarele de curent **T3** și **T4**;

— dulap de automatizare conținînd inductivitatea L, transformatorul de sincronizare **T2** și elementele schemei de automatizare;

— transformatorul **T1** tip TTU-NL, 630 kV, 6/0,525 kV;

—reostatul de pornire și reglaj tip RL-11141A;

— celulă cu contactoare și siguranțe fuzibile tip CIICF-6 kV/250 A;

— tahogenerator **B1** (montat pe motorul tip MIP).

Domeniul de reglaj al turației: 744 la 525 rot/min. Acționarea este destinată antrenării pompei cu rotor în dublu flux tip NDS 800—600—900 din instalațiile Combinatului Chimic Craiova.

Desenele de ansamblu pentru instalația propriu-zisă sînt prezentate în figura 4.

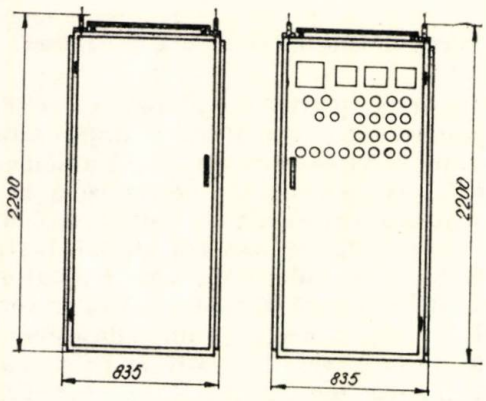


Fig. 4. Desen de gabarit acționare cu cascadă subsincronă.

4. Echipamente de acționare cu invertor de curent și motor asincron cu rotor în scurtcircuit

Schema bloc de comandă și reglare este prezentată în figura 5. Din potențiometrul **R** se prescrie turația dorită, care prin blocul integrator se aplică cu o anumită pantă regulatorului de tensiune **RU**, care o compară cu mărimea reală a tensiunii; mărimea de ieșire a regulatorului de tensiune se constituie în mărime prescrisă pentru regulatorul de curent **RI**. Curentul din convertizor este transformat, cu ajutorul traductorului de curent, în tensiune continuă și aplicată ca mărime reală în regulatorul **RI**. La ieșirea regulatorului **RI** se obține semnalul de comandă, care se aplică dispozitivului de comandă pe grilă al redresorului. Semnalul de comandă de la ieșirea blocului integrator se aplică și la intrarea dispozitivului tensiune-frecvență, la ieșirea căruia se obțin impulsuri cu frecvență în gama 6 f_{min}—6 f_{max}, care aplicate unui numărător în inel cu 6, comandă prin intermediul unui etaj amplificator de impulsuri grilelor tiristoarelor din invertor.

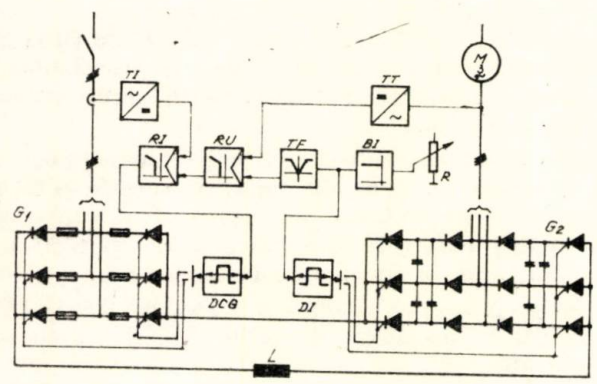
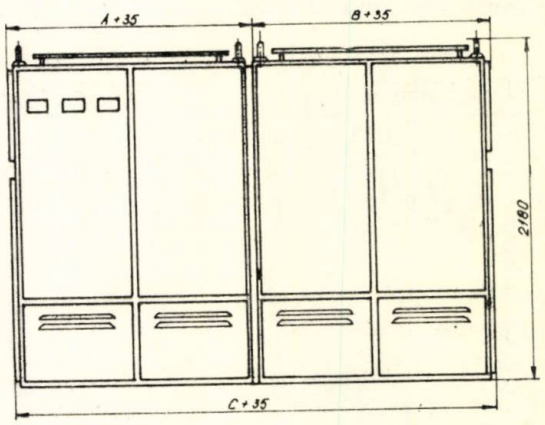


Fig. 5. Invertor de curent reglaj U/f = constant.

Cu această buclă de reglare au fost realizate două instalații pentru motoare de 160 kW și 200 kW pentru I. T. Roman.



Var	A	B	C	Masa netă
V01	1600	1500	3245	2250
V02	1600	1200	2845	1750

Fig. 6. Desen de gabarit invertor de curent 160; 120 kW.

Desenul de gabarit al instalației pentru 200 kW este prezentat în figura 6. Un dulap cuprinde redresorul, invertorul fără condensatoarele de comutație, inductivitatea din circuitul intermediar, elementele schemei de automatizare și sertarul de comandă. În dulapul al doilea se află condensatoarele de comutație din invertor.

5. Acționări reglabile cu motoare sincrone

La ICSIT-MTAE Craiova a fost dezvoltată acționarea reglabilă cu motor sincron, conform schemei din figura 7, caracterizată prin prezența a două convertizoare statice **CS1** și **CS2**, cu ajutorul cărora motorul sincron se alimentează cu tensiune și frecvență variabilă.

În funcționarea acționării se disting două domenii, funcție de turația motorului sincron.

La turații mai mari (0,06—0,1) n_N convertorul **CS1** funcționează ca redresor comandat, iar **CS2** ca invertor sincronizat cu tensiunea la bor-

nele motorului sincron. Comanda tiristoarelor din **CS2** se dă la un unghi de 150°, comutația tiristoarelor fiind naturală, pe seama energiei reactive furnizată de motorul sincron, fapt care constituie un important avantaj al schemei.

La turații mai mici de 0,06 n_N, t.e.m. generată de motor este insuficientă pentru comutația tiristoarelor, motiv pentru care comutarea tiristoarelor din **CS2** se face după anularea curentului, provocată de trecerea lui **CS1** în regim de invertor. În acest domeniu, semnalele pentru comanda tiristoarelor sînt preluate de la traductorul de poziție a rotorului **TP**, curentul injectat în motor fiind în fază cu tensiunea. Pe perioada de trecere în regim de invertor a lui **CS1** este comandat și tiristorul **T** care șuntează bobina de filtrare **L.** Aceasta permite o reluare a ciclului după anularea curentului fără probleme la regulatorul de curent.

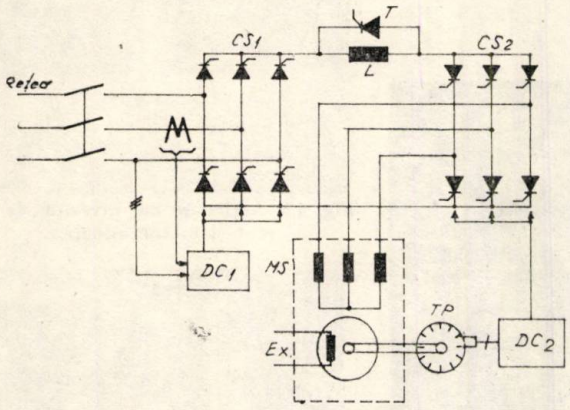


Fig. 7. Acționare reglabilă cu motor sincron: CS1— convertor static conectat la rețea; CS2— convertor static conectat la motorul sincron; L — inductivitate de filtrare; T — tiristoare pentru scurtcircuitarea inductivității la pornire; MS — motor sincron; TP — traductor de poziție; DC1— dispozitive de comandă redresor; DC2— dispozitive de comandă invertor.

Modul de reglare a turației rezultă din schema bloc a dispozitivului de comandă prezentată în figura 8.

Pentru comanda lui **CS1** se folosește schema cunoscută, conținînd dispozitiv de sincronizare cu rețeaua, dispozitiv de comandă pe poartă, regulator de turație și regulator subordonat de curent.

În domeniul de turație peste 0,06n_N regulatorul de curent acționează direct asupra dispozitivului de comandă pe poartă. Sub această turație borna de comandă a unghiului de aprindere de la **DCP** este trecută la—10V pentru perioade necesare anulării curentului. Această perioadă este determinată de sesizorul momentului comutației, în funcție de semnalul primit de la traductorul de poziție și sesizorul de curent nul. În această perioadă impulsurile pentru **CS2** sînt blocate. Cu o temporizare necesară revenirii tiristoarelor se aplică din nou impulsuri la **CS2**, tiristorul care a condus deja 120° rămînînd fără comandă. La turații mai mari de 0,06 n_N comanda se dă în funcție de tensiunea la bornele motorului.

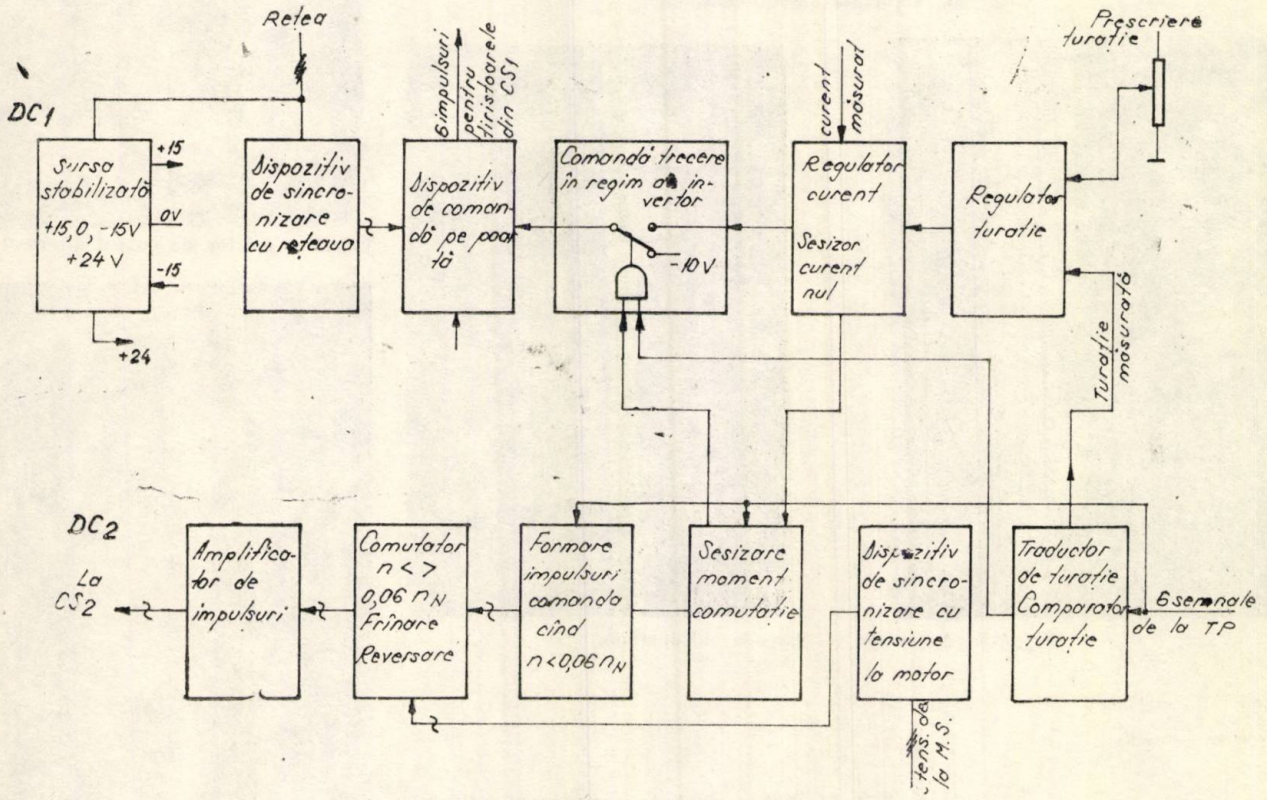


Fig. 8. Schema bloc a comenzii acționării reglabile cu MS.

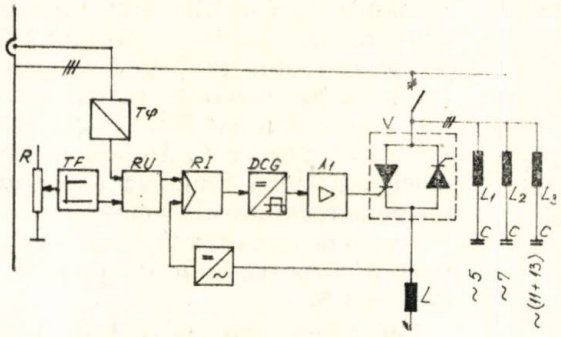
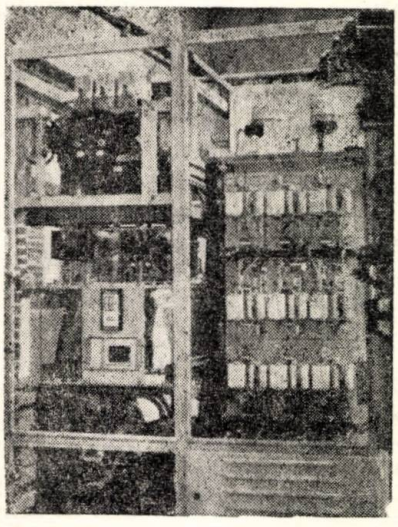


Fig. 9. Compensare şi filtrare cu variator.



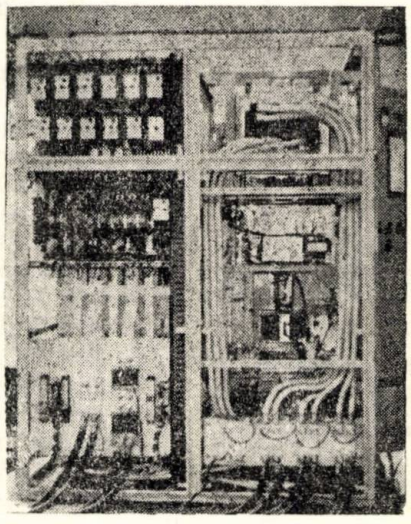
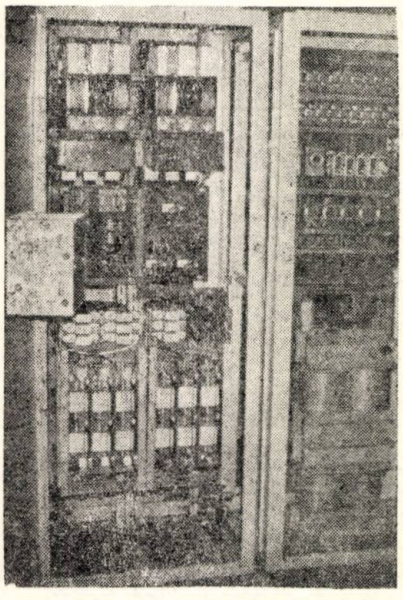


Fig. 10. Acţionare curent continuu.



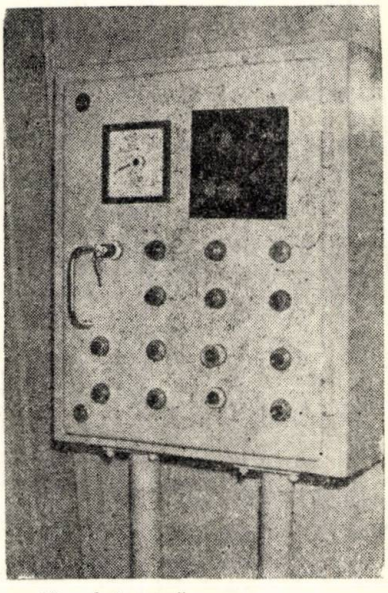


Fig. 11. Acţionare cu cascadă subsincronă.

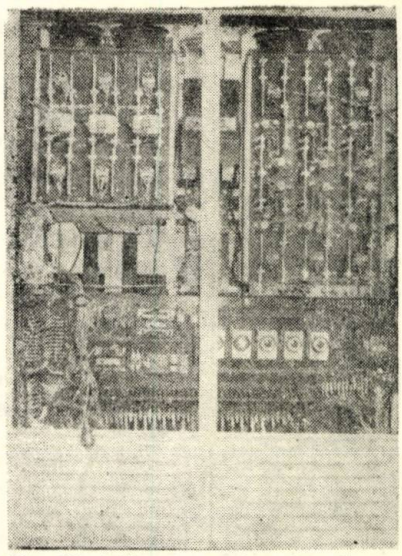
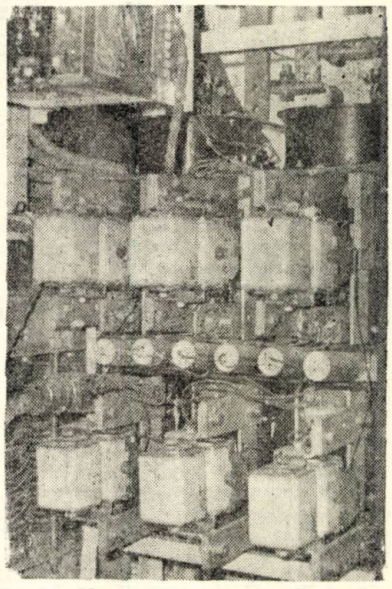


Fig. 12. Acţionare cu invertor de curent şi motor asincron.



Fi. 13. Variator de curent alternativ.

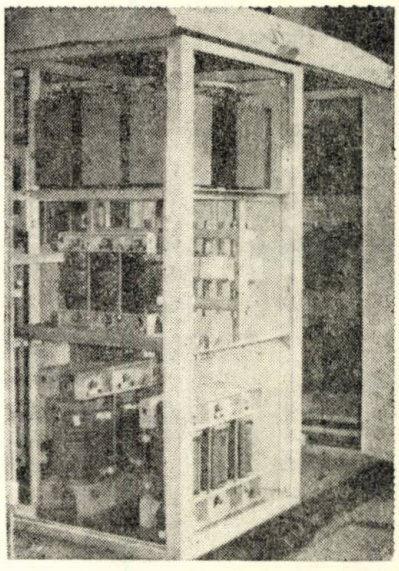


Fig. 14. Echipament de compensare şi filtrare a factorului de putere.

6. Influența asupra rețelei

Toate convertizoarele cu tiristoare folosite în acționările reglabile prezintă dezavantajul că produc putere deformantă și strică factorul de putere în rețeaua de alimentare.

În vederea înlăturării acestor neajunsuri s-au proiectat și sînt în curs de asimilare la IEPC echipamente de compensare și filtrare. Schema bloc de comandă și reglare este prezentată în figura 9. Schema are la bază principiul reglării curentului capacitiv fix dat de bateria de condensatoare **C** prin însumarea acesteia cu un curent inductiv, electronic variabil, dat de variatorul **V** și inductivitatea **L**. Reglajul fin al curentului capacitiv este dictat de traductorul de factor de putere T_φ care prin intermediul regulatorului de tensiune **RU** și regulatorului de curent **RI** acționează prin **DCG** asupra unghiului de aprindere al tiristoarelor din variatorul **V**, păstrînd astfel factorul de putere prescris de utilizator prin potențiometrul **R**.

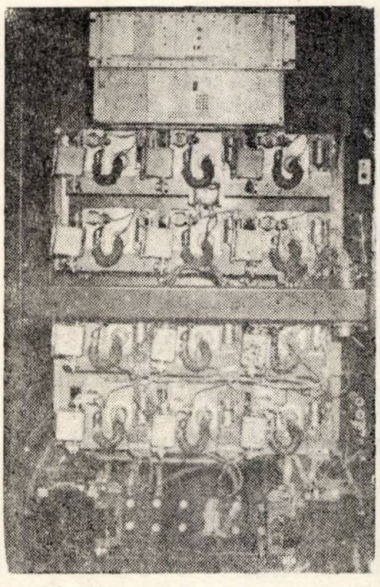


Fig. 15. Invertor pentru motor sincron.

Concluzii

În perspectivă, activitatea de cercetare-proiectare-producție are următoarele deziderate:

— creșterea continuă a puterilor acționărilor reglabile;

— introducerea tiristoarelor cu atingere pe poartă (GTO) pentru eliminarea circuitului de stingere la invertoarele de curent;

— introducerea microprocesorului pentru comanda convertizorului.

În figurile 10—15 sînt prezentate cîteva tipuri reprezentative de acționări reglabile.

(Primit la 11 noiembrie 1987, acceptat la 8 ianuarie 1988)

NOUTĂȚI

Din energetica mondială

REGLAREA MOTOARELOR PRIN CONVERTIZOARE DE FRECVENȚĂ

Industria din Marea Britanie produce zilnic 6000 de motoare electrice dintre care 30% sînt destinate antrenării pompelor de vehiculare și ventilatoarelor cu diverse utilizări industriale.

Începînd cu anul 1980 s-a generalizat utilizarea alimentării motoarelor de curent alternativ în scurtcircuit, motoarele cele mai frecvent întîlnite la antrenarea pompelor, prin intermediul convertizoarelor statice de frecvență. Compania Mitsubishi fabrică o tiposerie de 10 modele convertizoare Freqrol F2, concepute special pentru pompe și ventilatoare. Aceste convertizoare oferă posibilitatea reglării turației la o gamă de motoare avînd $P = 0{,}37 - 300$ kW și $n = 3000$; 1500 și 1000 rot/min.

Echipamentul electronic destinat reglării turației electropompelor se poate monta simplu în rețeaua trifazată de alimentare, fără să fie necesară o instalație de răcire. Montarea se poate face și la distanță, utilizîndu-se, de exemplu, un convertizor pentru mai multe electropompe într-un sistem coordonat, programabil.

Convertizoarele statice de frecvență destinate pompelor au un randament de circa 95 — 97% și deci în general nu este necesară suplimentarea puterii instalate în cazul montării acestora, în obiectivele existente.

Avantajele economice ale reglării turației pompelor și ventilatoarelor prin intermediul convertizoarelor statice de frecvență sînt:

— Economia de energie. De exemplu, un motor de 15kW costă aproximativ 330 £ Electropompa funcționînd 3200 ore/an consumă energie în valoare de 1700 £/an. Investiția în motor și în întreg echipamentul electronic de reglaj și comandă este aproape nesemnificativă față de costul energiei economisite. În multe aplicații montarea echipamentului de reglare a turației pompelor aduce economii de pînă la 58%. În aceste condiții amortizarea echipamentului de reglare se realizează în cîteva luni.

— Se reduc lucrările de inginerie civilă prin limitarea sau chiar anularea rezervoarelor compensatoare (hidrofoarelor) și, de asemenea, se elimină din instalații robinetele de reglare cu sistemele lor de acționare.

— Este posibilă o adaptare și o alegere mai bună a mărimii pompei pentru o anumită instalație.

— Funcționarea pompei este menținută în zona regimurilor optime asigurîndu-se o siguranță mărită în exploatare prin diminuarea eforturilor radiale, a zgomotelor și vibrațiilor specifice funcționării la debite reduse.

— Se poate ușor realiza o automatizare completă, valorile parametrilor ceruți de instalație fiind mai ușor de obținut.

(După: John Pogson, „Motor control using frequency inverters". In: World Pumps, July, 1987)

Vom continua publicarea lucrărilor colocviului de la Săvinești în nr. 4/1988.

СОДЕРЖАНИЕ

НАПРАВЛЕНИЕ В ЭНЕРГЕТИКЕ

КОЛЛОКВИУМ И КРУГЛЫЙ СТОЛ–СЭВИНЕШТЬ, 1987 г.

Внедрение приводов с регулируемой скоростью вращения для насосов, вентиляторов, компрессоров: пути к достижению экономии электроэнергии 97—98

ИОН ДЖОРДЖЕСКУ: Достижение экономии энергии за счет использования приводов с переменной скоростью вращения на насосах и вентиляторах в рамках мероприятий по автоматизации технологических процессов 99—109

ГЮНТЕР ВАЙНРИХ: Регулируемые электроприводы насосов и вентиляторов. Актуальная стадия и тенденции в мировом плане и в СРР 110—126

ИОН ДАН, ВИОРИКА ЩЕРБУ, КОНСТАНТИН ЗАМФИРЕСКУ, ДАН ТОМОЗЕЙ, КРИСТИАН ГЕОРГИУ: Регулируемые электроприводы мощности, с синхронными двигателями управляемыми статическими преобразователями частоты 126—135

ВАСИЛЕ КЭРЭШЕЛ, КЭЛИН ПРЕДЕСКУ: Достижения Научно-исследовательского инженернотехнологического института электрических машин и трансформаторов (г Крайова) в области регулируемых приводов насосов, центиляторов и компрессоров 136—141

НОВОСТИ

ИЗ МИРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ 141

INHALT

DIE ENERGIEWIRTSCHAFT IN INDUSTRIEBETRIEBEN

KOLLOQUIUM UND RUNDER TISCH—SĂVINEŞTI 1987

Die Einführung der Antriebe mit regelbarer Drehzahl für Pumpen, Ventilatoren und Verdichter — eine Möglichkeit zur Einsparung der Elektroenergie 97—98

BERICHTE

ION GEORGESCU: Energieersparnisse durch der Antrieb mit regelbarer Drehzahl für Pumpen und Ventilatoren in der Automatisierung der technologischen Prozesse 99—109

GÜNTHER WEINRICH, MIRCEA LUNGU, ŞTEFAN STĂICULESCU, RADU ŢIUCRA: Regelbare Elektroantriebe für Pumpen, und Ventilatoren. Der gegenwärtige Stand und Zukunftsaussichten in Rumänien und weltweit 110—126

ION DAN, VIORICA ŞERBU, CONSTANTIN ZAMFIRESCU, DAN TOMOZEI, CRISTIAN GHEORGHIU: Regelbare elektrische Leistungsantriebe mit durch statische Frequenzumformer gesteuerte Synchronmotoren 126—135

VASILE CĂRĂŞEL, CĂLIN PREDESCU: Fortschritte zum Bau der Ausrüstungen für regelbare Antriebe für Pumpen, Ventilatoren und Verdichter im Institut für wissenschaftliche Forschung und technologisches Engineering — Bereich elektrische Maschinen und Transformatoren und in den Werken Electroputere Craiova 136—141

NEUIGKEITEN

DIE ENERGIEWIRTSCHAFT WELTWEIT 141

SOMMAIRE

L'ÉNERGIE DANS L'ENTREPRISE

COLLOQUE ET TABLE RONDE — SĂVINEŞTI, 1987

L'introduction des commandes électriques à nombre réglable de tours pour les pompes, les ventilateurs et les compresseurs—un moyen pour économiser l'énergie électrique 97—98

RAPPORTS

ION GEORGESCU: Economies d'énergie électrique obtenues par la commande à nombre variable de tours des pompes et des ventilateurs dans l'automatisation des processus tehnologiques 99—109

GÜNTHER WEINRICH, MIRCEA LUNGU, ŞTEFAN STĂICULESCU, RADU ŢIUCRA: Commandes électriques réglables pour les pompes et les ventilateurs. L'état d'avancement et les tendances dans le monde et en Roumanie 110—126

ION DAN, VIORICA ŞERBU, CONSTANTIN ZAMFIRESCU, DAN TOMOZEI, CRISTIAN GHEORGHIU: Commandes éelectriques de puissance à moteurs synchrones réglées par des convertisseurs statiques de fréquence 126—135

VASILE CĂRĂŞEL, CĂLIN PREDESCU: Réalisations dans le domaine du matériel de commandes réglables pour les pompes, les ventilateurs et les compresseurs, obtenues par l'Institut de Recherches Scientifiques et d'Ingiénérie Technologique-Craiova et Electroputere-Craiova 136—141

NOUVEAUTÉS

DE L'ÉNERGÉTIQUE MONDIALE 141

CONTENTS

ENERGY IN THE ENTERPRISES

COLLOQUIUM AND ROUND TABLE – SĂVINEȘTI, 1987

The Implementation of Controllable Rotating Speed Drives for Pumps, Fans and Compressors — A Way for Electrical Energy Savings 97—98

REPORTS

DC 621.67: 34: 621.63

ION GEORGESCU: Energy Saving by Variable Speed Drive of Pumps and Fans Used for Technological Processes Automation

Most automatic control loops contain among others a control valve for alternating a fluid flow; it is located mostly on the lift (and sometimes on the absorption) of a turboset (pump or fan). This solution is marked by several disadvantages. Even by the correct choice and dimensioning of the control valve, a pressure loss of about 25% of the entire dynamic pumping lift (the pressure drop of the pump's hydraulic circuit) cannot be avoided. The pump power (when the static height lacks) and thus the used energy, being proportional to the pumping lift, means that 25% of this energy is used by the control valve.

Another solution consists in attaining the fluid flow variation by changing the rotative speed of the turboset. Thus, it becomes a component of the control loop (which is directly proportional to the rotative speed) being controlled by the loop regulator.

The rotative speed variation is performed by an electronic variator included between the mains supply and the pump motor without any other alteration.

This solution can be applied in our country due to the existence of a large and varied manufacturing range of rotative speed variation electronic equipment, i.e. the products of the Enterprise „Electronica". Depending on the specific features of every case, existing asynchronous motors or d.c. motors are used.

This device enables the obtaining of very important economic gains especially by its wide-ranging application, since it eliminates the disadvantages of the valves.

[Energetica 35 (1988), nr. 3, p. 99—109]

DC 621.67: 621.34: 621.63

GÜNTHER WEINRICH, MIRCEA LUNGU, ȘTEFAN STĂICULESCU, RADU ȚIUCRA: Variable Speed Electric Drives for Pumps and Fans — State of the Art and Trends in Romania and Worldwide

The most important types of variable-speed electric drives, used for pumps and fans are analysed.

Thus, d.c. drives with thyristor rectifiers have the simplest and most reliable electronic equipment, but also the disadvantages determined by the commutator and brushes of the motor: limited power at high speeds, necessity of maintenance and spare parts, difficult construction in flameproof enclosure. The power factor at rated speed is approximately the same compared to the squirrel-cage induction motor, but decreases proportionally to the speed. The generated harmonic currents are to be surveyed, mainly in the case of capacitors for var compensation. Romania produces d.c. motors and thyristor rectifiers up to 5400 kW, thousands of d.c. drives being in operation in the country and abroad.

The brushless synchronous motor drive with thyristor frequency converter is the only possible solution at high power and high speeds (above 1500 rpm and 1...2 MW), but it may be used at lower speeds and powers too. The problems with respective power and harmonic generation are the same as with d.c. drives. Harmonic torques of (6 fl), 12 fl) ..... frequency are generated and the coincidence with critical torsional frequencies of the shaftline in the speed range must be checked. The Electrotechnical Research and Design Institute (ICPE) Bucharest produces such drives for 3 MW, 0...2000 rpm.

The subsynchronous thyristor converter cascade is very interesting for the narrow speed range (0.7...1 up to 0.5... ...1) applications up to 1500 rpm (1800 rpm in 60 Hz networks). An extension of the speed range at optimum energetic parameters is possible with transformer-tap or series-parallel commutation of bridges. The effect of harmonic torques of (6 sf_1), (12 sf_1) and higher frequencies within the speed range must be checked. An important feature of the induction slip-ring motor drive is its availability even in the case of fault in the converter equipment. Operation at full speed or even at variable speed is possible by the use of the rotor rheostat; rotor circuit losses in the case of a pump-type torque (kn^2) are below 15% of rated power and an important amount of energy can be saved even in this case compared to valve or bypass control. For almost 20 years, the Electrotehnica Works of Bucharest deliver subsynchronous cascade drives up to 1250 kW to different countries, especially for cement production lines.

Frequency converters for squirrel-cage induction motors-with voltage and current source thyristor-inverters are produced by the Electrotehnica Works in the range of 5 to 270 kVA. The reactive and harmonic effects are similar to the d.c. drive. The squirrel-cage motor is the most robust and reliable motor, but the electronic Equipment is more complicated. The future solution will be the PWM transistor or GTO thyristor converter, with negligible reactive and harmonic effect upon the network and motor. Such PWM transistor converters are produced by different companies for squirrel-cage motors up to 132 kW.

[Energetica 35 (1988), nr. 3, p. 110—126]

DC 621.313.233: 621.413.263

ION DAN, VIORICA ȘERBU, CONSTANTIN ZAMFIRESCU, DAN TOMOZEI, CRISTIAN GHEORGHIU: Power Controlled Electric Drives with Static Frequency Converters Governed Synchronous Motors

The paper presents the operation principle of synchronous motors governed drives supplied by two types of static frequency converters: direct converter and d.c. interme diate circuit. The performances of these drives and the advantages versus other systems are outlined.

Starting from the analysis of the power/speed limit characteristic for these drives types, their application ranges within several industries (chemical, metal working, energy, etc.) are enumerated.

The advancements achieved by the Electrotechnical Research and Design Institute — ICPE in this field are presented as well as the worldwide present stage.

The development trends in this field and the widening of the implementation range of these drive systems in the Romanian industry are indicated.

[Energetica 35 (1988), nr. 3, p. 126—135]

DC 621.67: 621.34: 621.63+621.51

VASILE CĂRĂȘEL, CĂLIN PREDESCU: Achievements Regarding Controllable Drive Equipment for Pumps, Fans and Compressors at the Scientific Research and Technological Engineering Institute — Department for Electrical Machines and Transformers and the Electroputere Works Craiova

The paper presents main driving equipment categories. Depending on the rotative speed coupling variation, on the power range and on the rotative speed changing range, there are described drive types using:

— completely controlled rectifier units and d.c. motors;

— subsynchronous cascade and wired rotor asynchronous motors;

— current inverter and shortcircuited rotor asynchronous motor;

— current inverter and static excitation synchronous motor.

The adopted products for manufacturing and the future trends in the Romanian industry are presented.

References to the grid's power factor are made and compensation and filtering equipment delivered with the driving device are enumerated.

[Energetica 35 (1988), nr. 3, p. 136—141]

NEWS

ENERGY WORLDWIDE 141

COLEGIUL DE REDACȚIE

Redactor responsabil: **dr. ing. Eugeniu Pavel**

Redactori responsabili adjuncți: **dr. ing. Mihai G. M. Pop, dr. ing. Gheorghe Bălan, ing. Radu Opincaru**

Secretar de redacție: **dr. ing. Teodor Popa**

Gestiune financiară: **ec. Monica Livezeanu**

Orientări în energetică: **dr. ing. Mario Duma**

Energetica în unități economice: **ing. Ion Măiereanu, ing. Alexandru Florescu**

Dezvoltarea sistemelor energetice: **dr. ing. Nicolae Armencoiu, dr. ing. George Manolescu**

Conducerea și automatica SE: **dr. ing. Victor Romert, dr. ing. Jean Constantinescu**

Centrale termoelectrice: **conf. dr. ing. Costin Moțoiu, ing. Romeo Zbarcea**

Centrale hidroelectrice: **dr. ing. Gheorghe Luca**

Centrale nuclearoelectrice: **ing. Adrian Georgescu, prof. dr. ing. Nicolae Dănilă, ing. Mircea Tarța**

Rețele electrice: **ing. Dinu Voinea, ing. Nicolae Georgian**

Alimentare cu căldură: **ing. Nicolae Niculescu**

Surse și tehnologii noi: **ing. Constantin Popescu**

Tehnologii chimice în energetică. Poluare: **dr. chim. Maria Maftei**

Organizarea producției și a muncii: **ing. Miron Popescu**

Terminologia energetică: **dr. ing. Iosif Cserveny**

Istoria electrificării: **ing. Paul Cartianu**

Noutăți: **ing. Mihai Nistor, ing. Romulus Sfichi**

Centre universitare și industriale:
București: **conf. dr. ing. Alexandru Selischi**
Iași: **prof. dr. ing. Alexandru Poeată**
Timișoara: **prof. dr. ing. Viorel Negru**
Cluj-Napoca: **conf. dr. ing. Silviu Darie**

Acest număr a fost realizat cu ajutorul **ing. Angela Perea**, secretarul grupei de specialitate „Energetica în unități economice"

Revista „ENERGETICA" este editată și administrată de Institutul de Cercetări și Modernizări Energetice prin Oficiul de Informare Documentară pentru Energetică.
Vasile Pleșca — șef OIDE, **Ana Maria Chivu** — redactor

Revista ENERGETICA — publicație lunară, reflectă preocupările spirituale și realizările materiale în domeniul energeticii. Funcționează în conformitate cu **ROF** aprobat cu Ordinul nr. 651/1984, publicat în numărul 4/87 al revistei. Elaboratorii de lucrări propuse pentru publicare sînt rugați să consulte *„Îndrumările pentru întocmirea și prezentarea lucrărilor propuse pentru a fi publicate în revista Energetica"*, *„Ghidul pentru avizarea lucrărilor propuse pentru a fi publicate în revista Energetica"* apărute în numărul 12/86, precum și *„Planul tematic al revistei Energetica pe anii 1987—1990"* publicatîn nr. 5/1987 al revistei.

Instituțiile pot achita abonamentele în contul de virament nr. 30.11.8.01.01 — BN R.S.R. Fil. Sector 3. Costul unui abonament: 144 lei anual; costul unui exemplar: 12 lei.

41 401

ANNOUNCEMENTS FOR READERS ABROAD

- **The review "Energetica" can send on request from publications abroad reports translated in one of the worldwide spoken languages**
- **The review "Energetica" proposes a publication exchange with similar reviews and in relating field**
- **The review "Energetica" provides and publishes or introduces books on energy received at the editorial office. Reviews and presentations of books sent on this purpose to the editorial office can be published as well**
- **The review "Energetica" publishes on request from authors abroad reports of energy or other materials: technical and scientific news, inventions-innovations, information about technical and scientific symposia, etc. written in one of the worldwide spoken languages**
- **Readers from abroad can subscribe through: ROMPRESFILATELIA — sectorul import-export, P. O. Box 12—501 telex 10376 prsfir, Calea Griviței nr. 64—66, București — România.**

Redacția și administrația: București 79619, Bd. Energeticienilor nr. 8, sect. 3
Telefon: 20.67.30, 21.46.30

Tiparul: Întreprinderea Poligrafică „Informația, București
str. Brezoianu 23—25 c. 2062

MÚSZAKI INFORMÁCIÓS HIVATAL 1883

IPA®

AT YOUR SERVICE

WITH SOFTWARE

WITH INDUSTRIAL ROBOTS

WITH MACHINE-TOOLS AUTOMATION

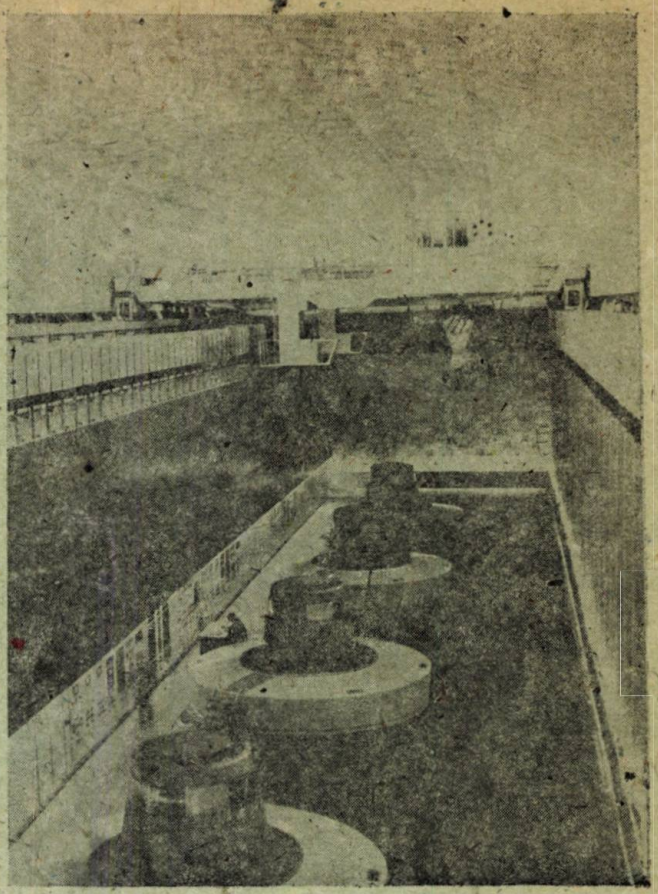
IPA PARTENERUL DUMNEAVOASTRĂ ÎN DOMENIUL AUTOMATIZĂRILOR

EXPORTER ELECTRONUM BUCHAREST – ROMANIA

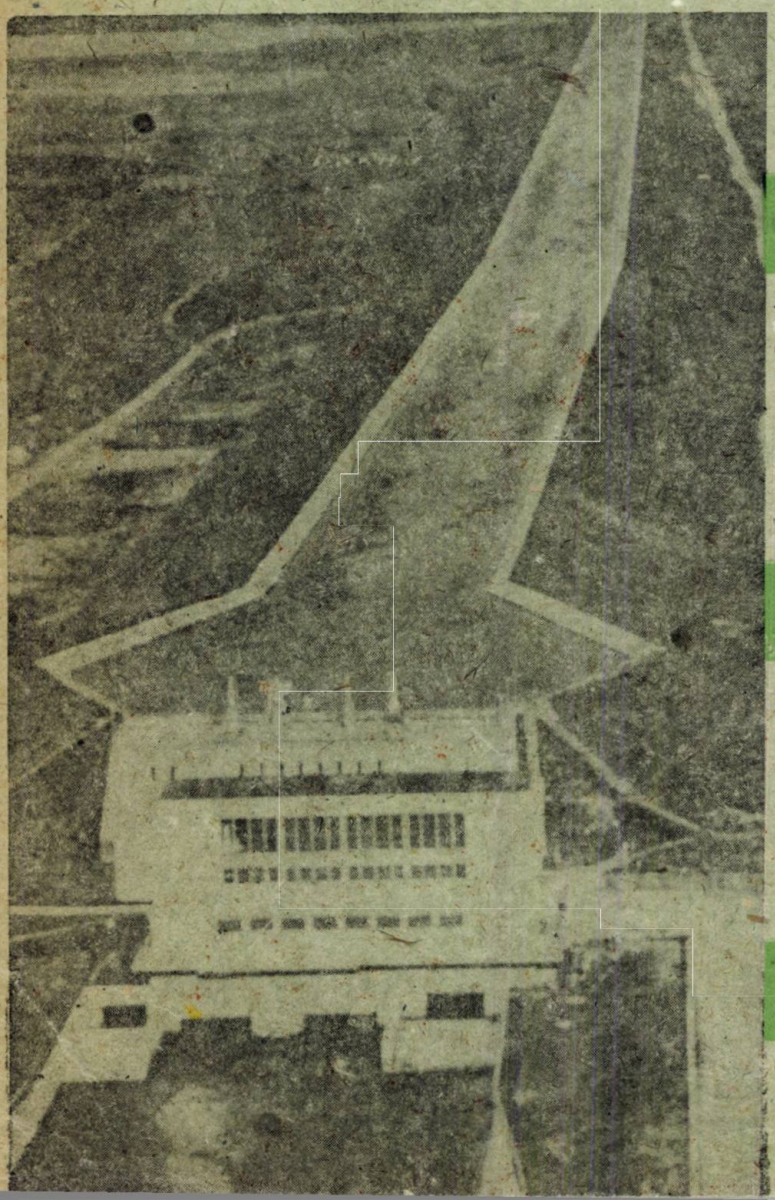
I.S.P.H.

INSTITUTUL DE STUDII ŞI PROIECTĂRI HIDROENERGETICE

1989 MAR 0 2



ISPH-Designing Institute with complex profile offers :



RIVER BASIN DEVELOPMENT STUDIES

- hydroelectric developments
- multipurpose hydraulic developments
- special hydraulic structures

SPECIAL ACTIVITIES

- hydrological and hydrogeological studies
- engineering-geological investigations
- geotechnical and geophysical explorations, soil and rock mechanic investigations
- topographical surveys and mapping

SPECIAL SERVICES

- preliminary studies and designs
- feasibility studies
- final designs
- detailed construction drawings
- tender documents and contracts
- inspection and supervision
- expert's reports

29, Republicii Blvd., 79669 Bucharest,
Romania,
Phone 147270, Telex 11-443 i.s.p.h.r.

E 2039

ETE

R 1988. NOV 03 Referitiva

MW 4

Cuprins

LUCRĂRILE COLOCVIULUI ŞI MESEI ROTUNDE — SĂVINEŞTI 1987 (continuare)

DAN MICU: **Motoare asincrone cu rotorul în scurtcircuit standard, în acţionări reglabile** 145

LUCIAN RADU: **Efectele reglării caracteristicilor pompelor asupra reducerii consumului de energie** 148

NICOLAE OPRIŞIU: **Criterii şi cerinţe privind alegerea acţionărilor electrice cu turaţie variabilă în serviciile interne ale centralelor electrice** 153

IOAN DESIRÉ SUCEVEANU: **Analiza posibilităţilor de reglare a parametrilor tehnologici prin variaţia turaţiei agregatelor** 156

DISCUŢII 160

ENERGETICA ÎN UNITĂŢI ECONOMICE

JEAN CONSTANTINESCU: **Ierarhizarea şi dimensionarea obiectivelor de conservare a energiei** 164

CONSTANTIN NEAGA: **Gradul optim de recuperare a căldurii gazelor de ardere evacuate din cuptoarele industriale** 167

CONDUCEREA ŞI AUTOMATICA SE

ION NICOLAU: **Amplificator hidraulic de urmărire** 173

ORIENTĂRI ÎN ENERGETICĂ

LIVIU LUP: **Determinarea eficienţei investiţiilor din instaţiile solare pe baza criteriului „durata de restituire a împrumutul energetic cu dobîndă"** 176

SURSE ŞI TEHNOLOGII NOI

VALERIA PETRESCU, ADINA COTÂRŢĂ, TEODOR VIŞAN: **Metodă calorimetrică de determinare a energiei stocată în sisteme topite (în domeniul de temperatură 373 K — 1 073 K)** 182

NOUTĂŢI

DIN ENERGETICA MONDIALĂ 163, 172, 181

MIRCEA RĂDULESCU, ION BĂNICĂ, RADU BĂCANU: **Organizarea urmăririi incidentelor şi aplicarea experienţei de exploatare la centralele nuclearoelectrice şi clasice din Franţa** 184

INVENŢII — INOVAŢII 187

VOLUMUL XXXVI
BUCUREŞTI
APRILIE 1988

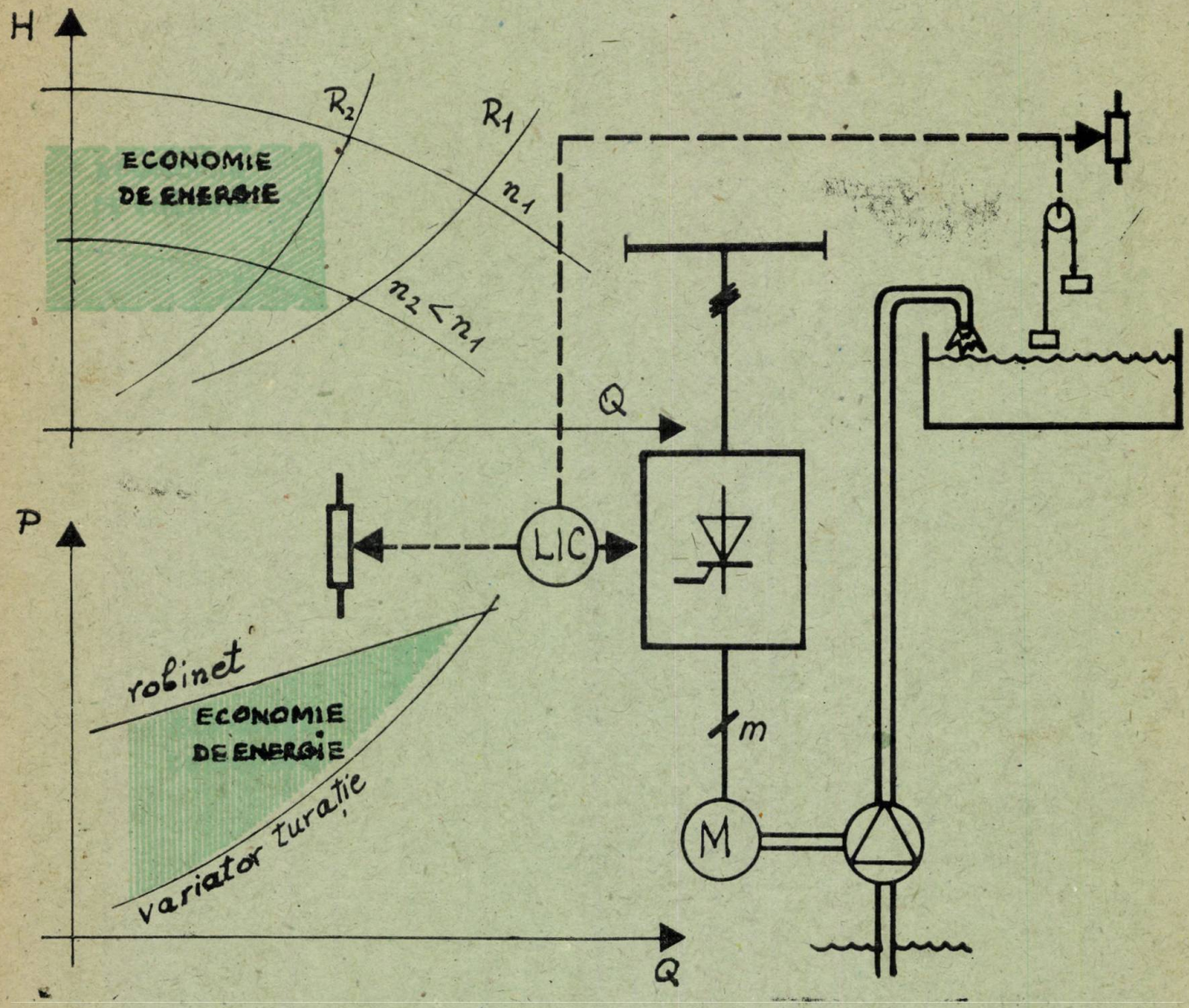
energetica

IPA

INSTITUTUL DE CERCETARE ŞTIINŢIFICĂ ŞI INGINERIE TEHNOLOGICĂ PENTRU AUTOMATIZĂRI

BUCUREŞTI, CL. FLOREASCA 167, CONT VIRAMENT BN-RSR FIL. SECTOR 1 301.700.301
TELEX 11 907 C 69 TEL. 33.00.69

Economisiți energia prin acționarea cu turație variabilă a pompelor și a ventilatoarelor



IPA asigură analiza problemei dv. tehnologice și proiectarea echipamentelor electronice și a instalațiilor de acționare cu turație variabilă a utilajelor, în scopul reglării parametrilor tehnologici în condiții de consum minim de energie.

În baza unei experiențe de aproape 30 de ani, IPA elaborează :

—proiecte de acționări electrice reglabile pe baza seriilor de convertizoare statice concepute de IPA și fabricate de Întreprinderea Electrotehnica;

—lucrări de cercetare-asimilare pentru echipamente noi de acționare.

ENERGETICA

ORGAN AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE ŞI AL CONSILIULUI NAŢIONAL AL INGINERILOR ŞI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

SUB ÎNDRUMAREA CONSILIULUI ŞTIINŢIFIC AL INSTITUTULUI CENTRAL DE CERCETĂRI ENERGETICE

Anul 36 | Nr. 4 | Aprilie 1988

Lucrările colocviului şi mesei rotunde—Săvineşti 1987 (continuare)

REFERATE

Motoare asincrone cu rotorul în scurtcircuit standard, în acţionări reglabile

Dr. ing. Dan Micu*

Descriptori: acţionări cu turaţie variabilă, motoare asincrone

Motorul asincron cu rotorul în scurtcircuit asociat cu convertizorul static de frecvenţă este folosit ca principal mijloc de antrenare pentru diferite agregate şi procese industriale, cum ar fi :

— acţionări pentru pompe cu aplicaţii în uzine de apă, centrale electrice, industria chimică etc. ;

— acţionări complexe pentru diferite linii de producţie în industriile textilă, a lemnului etc. ;

— ventilatoare.

Opţiunea unui număr din ce în ce mai mare de utilizatori se datoreşte în primul rînd construcţiei simple, întreţinerii uşoare, toleranţei mari faţă de condiţiile de mediu, bunei disponibilităţi şi nu în cele din urmă preţului competitiv al acestui tip de motor asociat cu convertizorul static de frecvenţă corespunzător.

Un motor asincron cu rotorul în scurtcircuit asociat cu un convertizor static de frecvenţă formează un echipament electric de acţionare cu turaţie reglabilă în limite largi. Prin realizarea convertizoarelor statice de frecvenţă cu randament maximalizat şi combinarea lor cu motoare de asemenea de mare randament se pot obţine la utilizatori importante economii de energie electrică consumată, cu toate efectele economice şi sociale care decurg din aceasta.

În cazul unei pompe care trebuie să asigure debite variabile de lichid, sînt posibile trei variante de funcţionare : cu folosirea unui ventil de laminare, cuplarea din cînd în cînd a pompei (start-stop) şi reglarea turaţiei acesteia.

În figura 1 se prezintă trecerea din punctul de funcţionare **A** în punctul de funcţionare **B**, pe caracteristica pompei, dar prin laminare, deci pe o caracteristică a sistemului mai înclinată (cu debit redus şi presiune sporită). Puterea consumată de pompă se calculează cu relaţia :

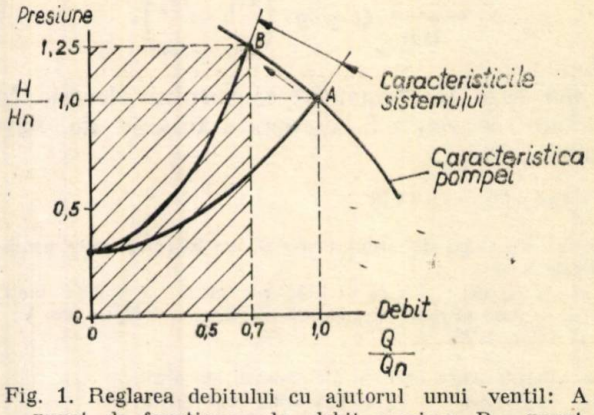


Fig. 1. Reglarea debitului cu ajutorul unui ventil: A — — punct de funcţionare la debit maxim; B — punct de funcţionare la debit redus.

$$P = \frac{Q \cdot H \cdot \rho \cdot g}{\eta},$$

unde :

P este puterea, în kW ;

Q — debitul, în m^3/s ;

H — înălţimea de ridicare a pompei (presiune), în m ;

ρ — densitatea lichidului, în kg/dm^3 :

g — acceleraţia gravităţii, în m/s^2 ;

η — randamentul pompei.

În figura 2 se prezintă trecerea din punctul de funcţionare **A** „nominală", la debitul redus (acelaşi de mai sus) corespunzător punctului **B** prin reglarea turaţiei.

Relaţia de mai sus şi graficele din figura 1 şi figura 2 arată că puterea cerută este dependentă de produsul debit şi presiunea realizată. Este de remarcat că economia de energie este dependentă de cantitatea medie de lichid pompată.

* Dr. ing. Dan Micu este şeful Laboratorului de Cercetare Echipamente şi acţionări Automatizare de Mare Putere din cadrul ICPE-MIEt.

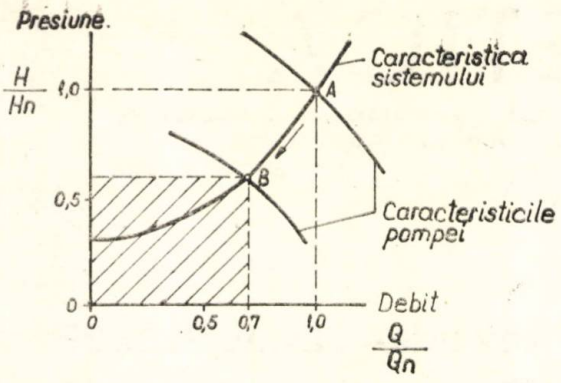


Fig. 2. Reglarea debitului de acţionare cu turaţie variabilă: A — punct de funcţionare la debit maxim; B — punct de funcţionare la debit redus.

Energia economisită este calculabilă cu relaţia :

$$W = P \cdot t = \frac{P_1 - P_2}{0{,}9} \cdot t =$$

$$= \frac{1}{0{,}9} \cdot Q \cdot \rho \cdot g \cdot \left(\frac{H_1}{\eta_1} - \frac{H_2}{\eta_2} \right),$$

unde :

0,9 este randamentul motorului electric (o valoare ce poate fi corectată funcţie de motorul folosit).

Exemplu practic

Pentru o pompă de circulat apa se iau în considerare următoarele date:

$H_n = 50$ m; $n_n = 1450$ rot/min; $t = 8000$ h/an;
$Q_n = 1000$ m³/h; $Q_M = 500$ m³/h; $U_a = 380$ V.
$P = 200$ kW;

Din curbele caracteristice ale pompei se obţin:

$H_1 = 65$ m; $P_1 = 118$ kW; $\eta_1 = 0{,}75$;
$H_2 = 12{,}5$ m; $P_2 = 20$ kW; $\eta_2 = 0{,}85$;
$W = 871\,000$ kWh/an.

Folosirea motoarelor standard în locul unora special dezvoltate împreună cu convertizorul static de frecvenţă limitează gama de reglare a turaţiei întrucît pierderile sporite în motor (funcţie de tipul convertizorului aceste pierderi supiimentare sînt mai mari sau mai mici, dar există) la turaţii sub turaţia de sincronism determină supraîncălzirea motorului care nu mai poate fi autoventilat.

În cele ce urmează se va prezenta modul în care poate fi ales un motor asincron standard şi un convertizor adecvat de tip acţionare de pompă, ventilator sau la cuplu constant.

În nomograma din figura 3, curba cuplu funcţie de turaţie a fost obţinută prin măsurători realizate pe motoare asincrone fabricate de firma Strömberg, dar aplicabile tuturor producătorilor de astfel de motoare. În cadranul „1" al nomogramei sînt date turaţiile motorului asincron pentru una, două, trei sau patru perechi de poli în funcţie de frecvenţă pentru domeniul 0—100 Hz. În cadranul „2" este prezentată variaţia cuplului funcţie de frecvenţă, punctele curbei fiind obţinute prin măsurători pe motoare standard. Cu linie punctată este prezentată variaţia cuplului posibil a fi dezvoltat pentru ventilaţie forţată a motorului. În cadranul „3" se face legătura dintre cuplul şi puterea motorului la diferitele turaţii de utilizare ale acestuia.

Utilizarea nomogramei poate fi urmărită cu ajutorul figurilor 4 şi 5.

Astfel, dacă de la o acţionare electrică pentru o pompă sau un ventilator se doreşte asigurarea unui cuplu la turaţia nominală (de exemplu 30 Nm la 3000 rot/min), din nomogramă se obţine pentru un motor cu o pereche de poli puterea necesară (11 kW în exemplul considerat).

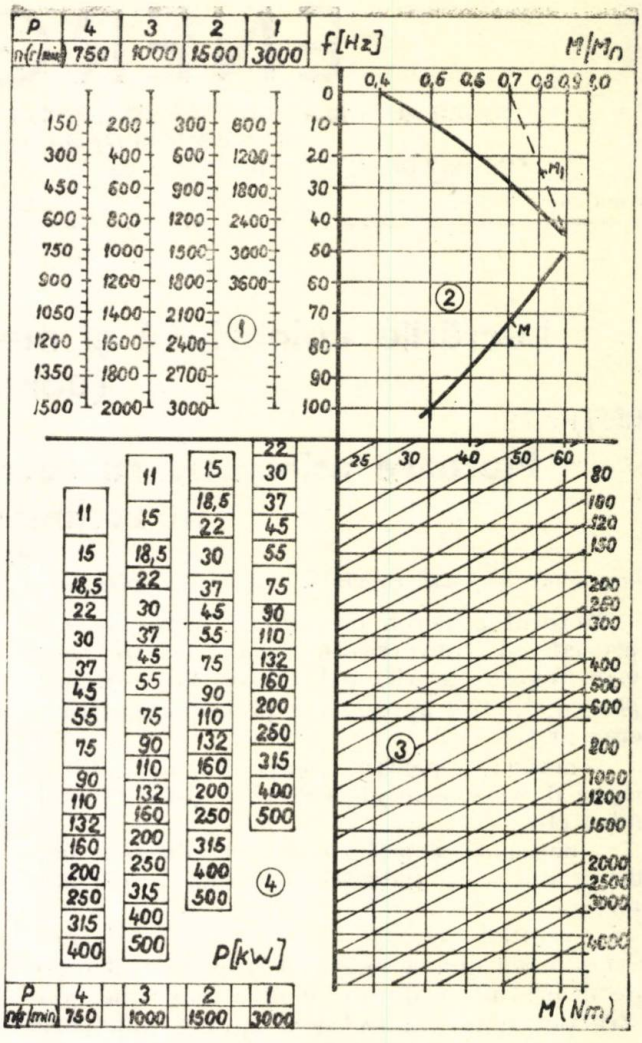


Fig. 3. Nomogramă pentru alegerea motorului.

Un alt exemplu: se doreşte un anume cuplu într-un domeniu caracterizat de două turaţii. Atunci motorul va fi ales pe baza puterii maxime rezultate (conform exemplului din figurile 4 şi 5 se va alege motorul de 7,5 kW).

De asemenea, nomograma poate fi folosită pentru determinarea cuplului nominal al motorului cînd puterea nominală la turaţia nominală este cunoscută. Un astfel de tip de nomogramă este utilă pentru proiectanţi, întrucît atît alegerea motorului, cît şi a convertizorului static de frecvenţă se poate face uşor.

Evident, tipul convertizorului şi tehnologia de realizare a motorului fac necesară introducerea unor corecţii. Producătorul convertizorului, odată ales motorul necesar, este în măsură să definească tipodimensiunea necesară ţinînd cont de modul în care realizează tensiunea de ieşire a convertizorului (la invertorul de tensiune de exemplu), de mărimea raportului cuplului maxim la cuplul nominal, de numărul de pulsuri etc.

În domeniul acţionărilor pentru pompe şi ventilatoare pot fi utilizate convertizoare statice de frecvenţă cu tiristoare sau tranzistoare de putere (200 kW şi respectiv 25 kW), cu scheme de reglare mai puţin sofisticate.

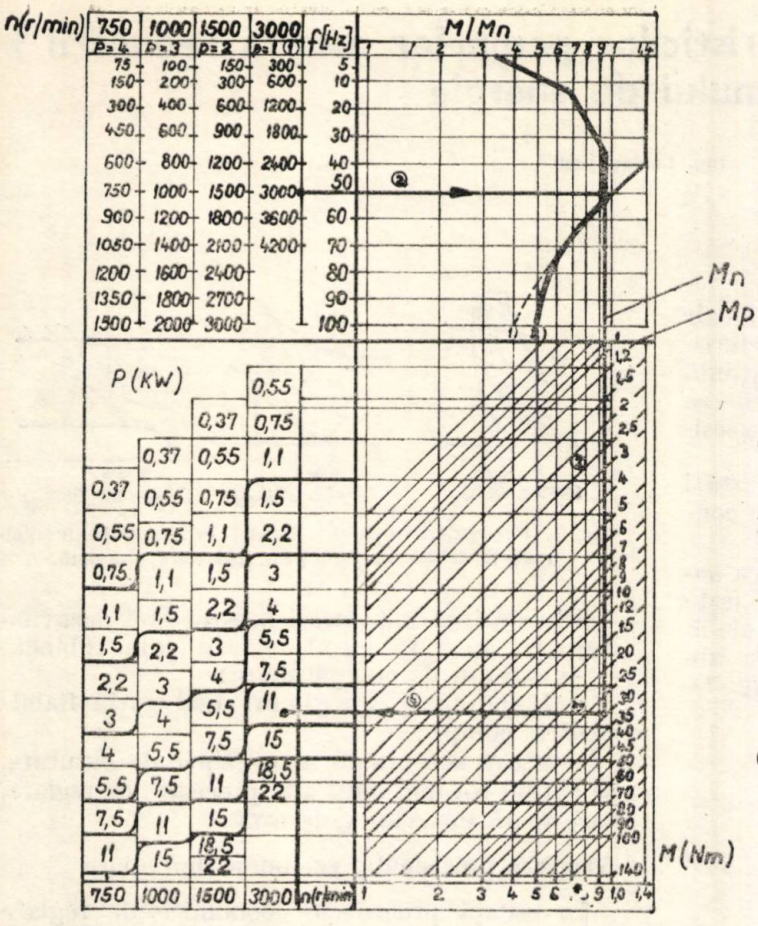


Fig. 4. Nomogramă pentru alegerea motorului pentru o turație și un cuplu dat.

La ICPE s-a realizat convertizorul static de frecvență în patru cadrane cu invertor de tensiune cu modulație în durată a impulsurilor de 200 kW și se află în curs de realizare varianta cu tranzistoare de pînă la 100 kW.

Gama de frecvență în care este asigurată funcționarea, de 0,4 ×125 Hz, pentru varianta cu tiristoare și cu posibilități de extindere depășește necesitățile acestor aplicații.

De asemenea, pentru conservarea energiei (economia de energie) la pornirea motoarelor asincrone în scurtcircuit la ICPE se cercetează, în vederea execuției, echipamente cu electronică de putere care asigură limitarea curentului absorbit din rețea în timpul procesului tranzitoriu de pornire.

→

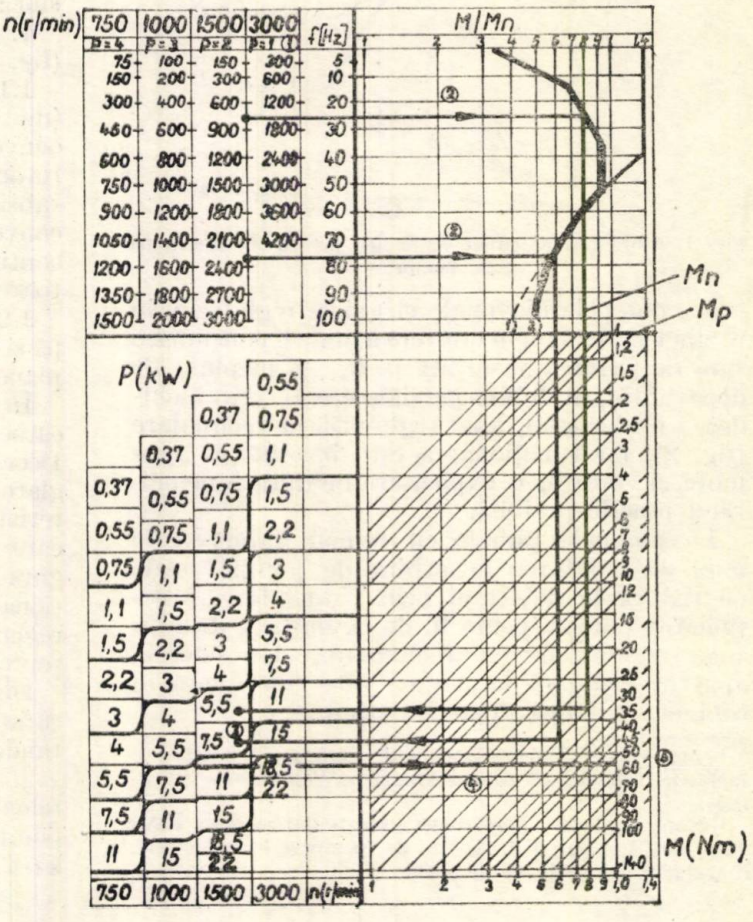


Fig. 5. Nomogramă pentru alegerea puterii motorului la funcționarea cuplului constant într-o anume gamă de turație; determinarea cuplului nominal, cunoscîndu-se puterea și turația.

Din punctul de vedere al eficienței acționării, alegerea unui motor electric de putere superioară nu constituie un impediment, întrucît investiția nu este sensibil afectată.

Pentru acest gen de aplicații este recomandabilă folosirea motoarelor standard, motoarele speciale ducînd la prețuri sensibil mai mari și circuite suplimentare de ventilație. Prin realizarea convertizoarelor cu invertor cu MID cu undă de curent cvasisinusoidală este asigurată, atît pornirea cu cuplu suficient, cît și un cuplu util foarte bun (90% din cel corespunzător alimentării de la rețea), ceea ce face soluția deosebit de tentantă.

Bibliografie

[1] Măgureanu, R., Micu, D. *Convertizoare statice de frecvență în acționări cu motoare asincrone*. Editura Tehnică, București, 1985.

[2] * * * Speed Control of Pumps Strömberg Application SAMI 42 GB.

[3] * * * SAMI Frequency Converters Strömberg Brochure SAMI 4 GB.

(Primit la 11 noiembrie 1987, acceptat la 8 ianuarie 1988)

Efectele reglării caracteristicilor pompelor asupra reducerii consumului de energie

Ing. Lucian Radu*

Descriptori: acţionări cu turaţii variabile, pompe

Introducere

În multe sectoare ale economiei naţionale problema unei reglări economice a caracteristicilor Q-H-P_a[1] la pompe centrifuge prezintă un interes tot mai mare odată cu extinderea şi creşterea unităţilor de pompare şi cu necesitatea reducerii consumului de energie.

Pompele centrifuge au fost şi sînt şi astăzi încă în mare parte reglate prin robinet pe conducta de refulare.

În funcţie de tipul pompei, de numărul caracteristic k (coeficient adimensional ce defineşte forma rotorului), odată cu reducerea debitului prin închiderea robinetului, puterea absorbită de pompă variază în mod diferit (fig. 1).

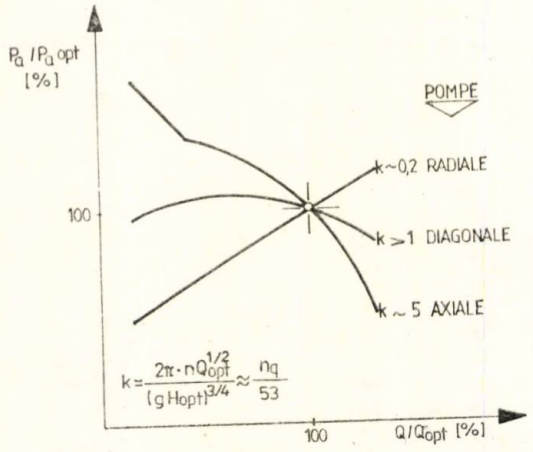


Fig. 1. Alura caracteristicii $P_a = f(Q)$ pentru diferite tipuri de pompe.

La pompele diagonale şi axiale reglarea prin robinet presupune o creştere a puterii consumate faţă de puterea absorbită la Q_{opt} şi în plus, alt dezavantaj, la debite parţiale create prin închiderea robinetului, apar regimurile de recirculare (fig. 2), iar funcţionarea este însoţită de zgomote şi vibraţii, o exploatare de durată nemaifiind practic posibilă.

La pompele radiale cu număr caracteristic mic, deşi puterea adsorbită de pompă scade cu reducerea debitului prin strangulare, funcţionarea pompei poate fi, de asemenea, dusă în zona regimurilor cu recirculare, iar energia aparent cîştigată la pompă este consumată în robinet, uzîndu-l în acelaşi timp.

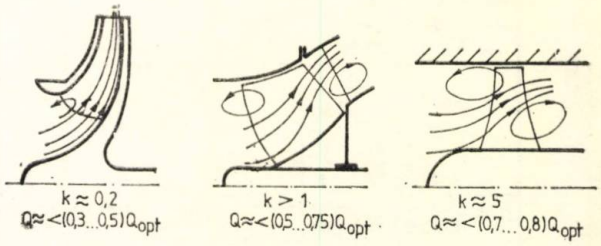


Fig. 2. Recirculare — curenţi inverşi — în pompe funcţionînd la debite parţiale prin reglarea robinetului.

Din dorinţa înlăturării acestor trei dezavantaje ce apar în cazul reglării prin robinet:

— consum de energie mare;

— funcţionare la regimuri mai puţin fiabile pentru pompă;

— uzură accentuată la organele de obturare, se extind tot mai mult alte procedee de reglare, care evită dezavantajele arătate.

Alegerea procedeului economic de reglare

În esenţă procedeele economice de reglare sînt:

1. Reglarea prin varierea turaţiei pompei (fig. 3 şi 4) cu variantele:

1.1. Varierea turaţiei motorului de antrenare (motor asincron în scurtcircuit alimentat prin convertizor de frecvenţă; motor asincron cu rotor bobinat comandat în sistemul „cascadă subsincronă"; motor sincron autopilotat prin convertizor de frecvenţă şi motor de curent continuu alimentat printr-un redresor cu tiristoare).

1.2. Varierea turaţiei transmisiei dintre pompă şi motor (variator hidraulic, variator mecanic planetar cu role etc.).

În figurile 3 şi 4 este reprezentată variaţia caracteristicilor pompelor centrifuge cu turaţia. Deoarece la alegerea procedeului optim de reglare se analizează împreună cele două caracteristici, a pompei $H(Q)$ şi a instalaţiei $H_i(Q)$, care determină punctul de funcţionare, în figura 3, s-a suprapus peste domeniul de funcţionare al unei pompe $H(Q\ \eta,\ n)$ obţinut prin reglarea turaţiei trei curbe caracteristice $H_i(Q)$ reprezentative pentru instalaţiile de pompare.

Din figura 4 se observă că reducînd cu 20% turaţia, puterea absorbită scade cu 50%, iar randamentul pompei rămîne practic, nemodificat.

2. Reglarea prin varierea unghiului paletelor rotorice: procedeu economic întîlnit la pompele axiale şi diagonale de tip Deriaz, $k > 2,5$, utilizate în circuitele de răcire ale cen-

* Ing. Lucian Radu — Centrul de Cercetări Ştiinţifică şi Inginerie Tehnologică pentru Pompe şi Ventilatoare Bucureşti.

[1]) Notă. Simbolurile şi mărimile utilizate sînt conform STAS 72515-80. Pompe şi instalaţii de pompare — Tehnologie, simboluri şi unităţi de măsură.

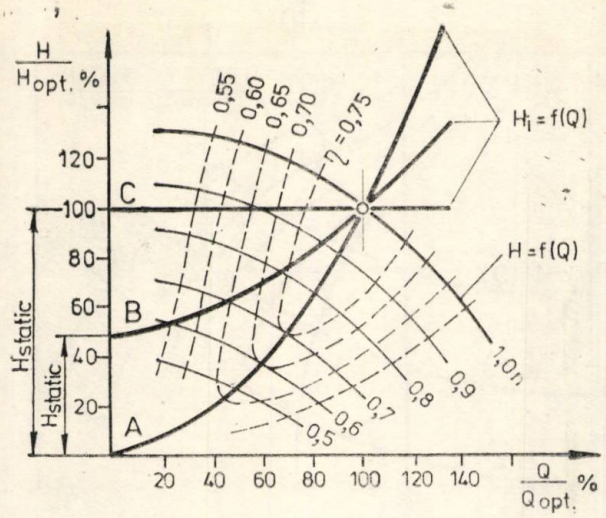


Fig. 3. Caracteristica $Q(H)$ la turaţii diferite, curbele de egal randament şi trei tipuri de instalaţii, A, B, C.

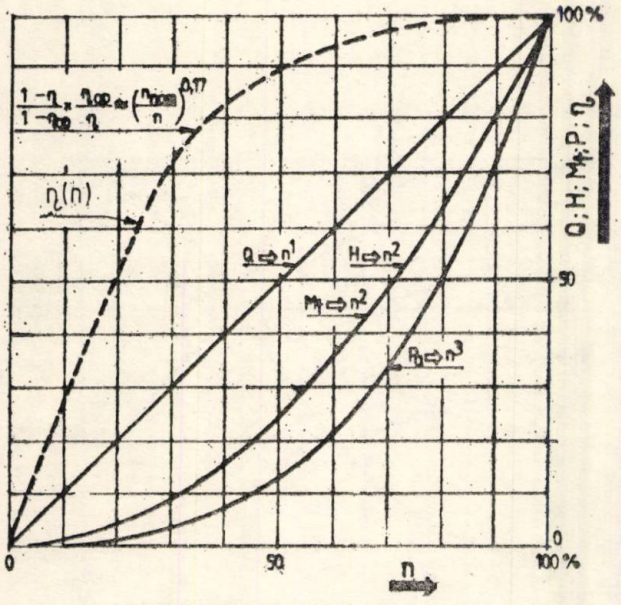


Fig. 4. Variaţia caracteristicilor pompei cu turaţia.

tralelor electrice sau în instalaţii de epuisment, irigaţii, alimentări cu apă etc. Variaţia caracteristicilor $H(Q)$ şi alura ovoidelor de egal randamet este ilustrată în figura 5 *a*.

3. Reglarea prin varierea unghiului de intrare a lichidului în rotor prin intermediul unui dispozitiv anterotoric cu palete reglabile: procedeu economic întîlnit la pompele diagonale $k = 1{,}5 \ldots 3$ utilizate în circuitele de răcire ale centralelor electrice sau în instalaţii de epuisment, irigaţii, alimentări cu apă etc. Variaţia caracteristicilor $H(Q)$ şi alura ovoidelor de egal randament este ilustrată în figura 5 *b*.

Alegerea procedeului optim de reglare trebuie făcută prin stabilirea economiei de energie obţinută într-o perioadă de timp la care se adaugă reducerea cheltuielilor de întreţinere a robinetului şi uneori chiar a pompei şi compararea acestora cu investiţiile făcute în echipamentul electric şi electronic sau în mecanismele suplimentare agregatului, funcţie de sistemul de reglare adoptat.

Din studiile întreprinse în R.F.G. [1] în domeniul industriei chimice rezultă că durata de amortizare a investiţiilor suplimentare introduse prin echipamentele electronice de reglare a turaţiei faţă de reglarea prin robinet nu depăşeşte doi ani.

Varierea turaţiei prin introducerea unui cuplaj hidraulic între pompă şi motor este o soluţie mai puţin economică datorită pierderilor hidraulice şi mecanice relativ mari care cresc proporţional cu reducerea turaţiei (fig.6.)

De exemplu, în cazul utilizării unui variator hidraulic prin care se reduce turaţia cu 40% randamentul întregului grup scade sub 50%.

$$\eta_{gr} = \eta \cdot \eta_{int} \cdot \eta_{mot} \approx 0{,}80 \cdot 0{,}60 \cdot 0{,}94 = 0{,}45.$$

În cele ce urmează ne propunem să prezentăm, prin exemplificare, o metodă de calcul a economiei de energie obţinută prin două procedee de reglare aplicate la două pompe diagonale de mărimi diferite, avînd acelaşi număr caracteristic $k \approx 1{,}70$ (MO250 şi MO600) şi funcţionînd în instalaţii de pompare diferite.

Pentru a stabili economia de energie realizată prin utilizarea unui anumit procedeu de reglare se au în vedere condiţiile de exploatare definite prin:

— tipul caracteristicii instalaţiei $H_i = f(Q)$;

— caracteristica de necesitate, adică variaţia într-o perioadă de lucru (un an) a debitului necesar. Pentru această caracteristică, a consumului, se admite o variaţie liniară a debitului între Q_{opt} şi Q_{min} (fig. 7).

Pentru a se analiza efectele reglării în instalaţiile foarte variate în care lucrează pompele, se iau în considerare trei tipuri de curbe $H_i = f(Q)$ (fig. 3, 8 şi tabelul 1) faţă de care se poate încadra orice situaţie întîlnită în practică:

A — instalaţie fără înălţime de pompare statică:

$$H_{stat} = H_{geo} + \frac{p_{i2} - p_{i1}}{\rho g} = 0;$$

B — instalaţie cu pierdere de sarcină şi cu înălţime de pompare statică;

C — instalaţie cu înălţime de pompare statică şi fără pierdere de sarcină (caz limită).

În scopul unei reprezentări adimensionale, în procente, a consumurilor de energie, respectiv a economiei de energie faţă de reglarea prin robinet, se definesc două mărimi specifice:

1 — consumul specific de energie, e, într-o perioadă T de exploatare;

2 — debitul specific $q = \dfrac{Q_{min}}{Q_{opt}}$.

$$e = \frac{\text{energia consumată de pompă, în perioada } T, \text{ funcţionînd la debite diferite}}{\text{energia consumată de pompă, în perioada } T \text{ funcţionînd la } Q_{opt}}$$

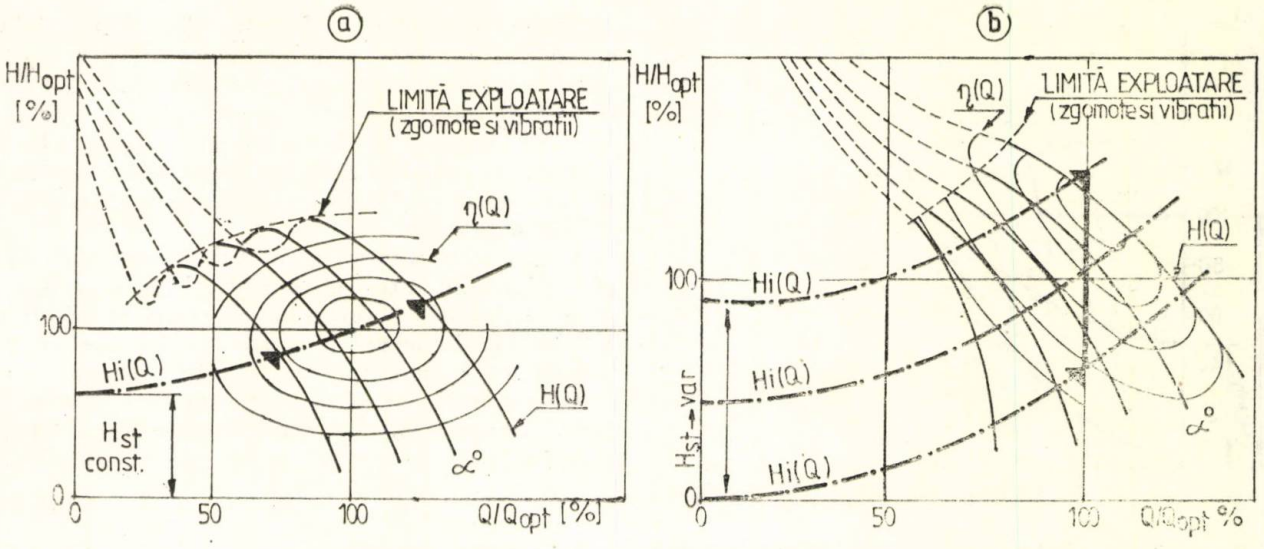


Fig. 5. Reglarea paletelor rotorice (a) și anterotorice (b).

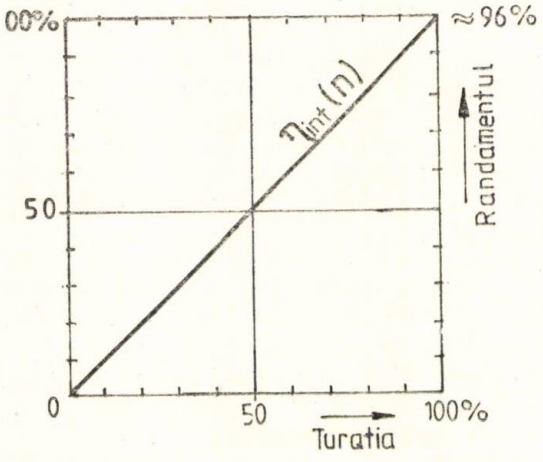


Fig. 6. Caracteristica $\eta_{tint}(n)$ a unui variator hidraulic de turație.

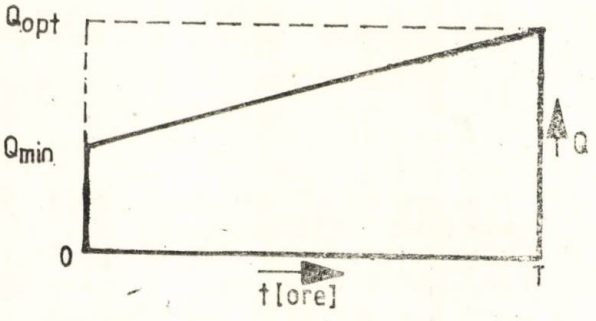


Fig. 7. Variația debitului într-o perioadă T de exploatare.

$$e = \frac{\int_0^T P \cdot dt}{P_{opt} \cdot T} = \frac{\int_0^T P \cdot dt}{\frac{Q_{opt} \cdot H_{opt}}{\eta_{opt}} \cdot T}.$$

Desfășurarea calculelor și rezultatele obținute sînt date tabelar în baza curbelor caracteristice $Q-H-\eta$ ale pompelor MO250 și MO600.

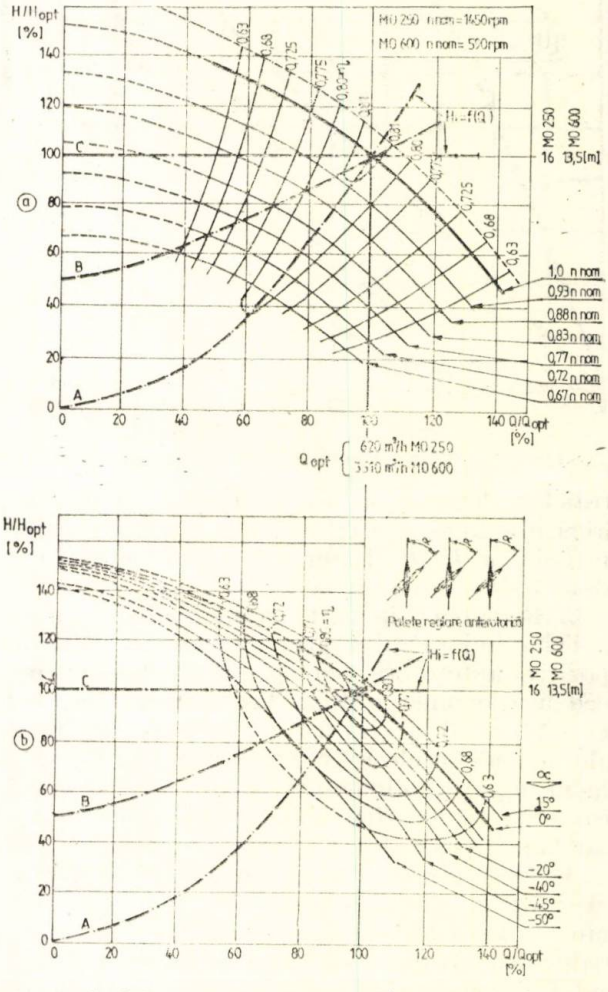


Fig. 8. Curbele caracteristice $Q-H-\eta$ ale pompelor MO 250 și MO 600 obținute prin: a — reglarea turației; b — reglare anterotorică.

Tabelul 1

Calculul consumului specific de energie şi al economiei de energie efectiv obţinute prin două procedee de reglare (a) şi (b) aplicate la două pompe diagonale funcţionînd în instalaţii diferite.

TIPUL INSTALATIEI / MODUL DE RGLARE		A				B				C			
Q_{min}		MO 250 ~0,6Qn	MO 600 ~0,6Qn	MO 250 ~0,8Qn	MO 600 ~0,8Qn	MO 250 ~0,6Qn	MO 600 ~0,6Qn	MO 250 ~0,8Qn	MO 600 ~0,8Qn	MO 250 ~0,6Qn	MO 600 ~0,6Qn	MO 250 ~0,8Qn	MO 600 ~0,8Qn
(a) REGLARE PRIN VARIEREA TURATIEI	η_{opt} [%]	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81
	P_{opt} [kW]	33	163	33	163	33	163	33	163	33	163	33	163
	$e=\frac{\int_0^T P\times dt}{P_{opt}\times T}$ [%]	0,56	0,56	0,76	0,76	0,74	0,74	0,84	0,84	0,86	0,86	0,91	0,91
	$\int_0^T P\times dt$	148457	730999	202670	997944	196758	968835	224806	1106941	227059	1118034	241748	1190354
	Economia de energie fată de reglarea prin robinet [kWh]	121310	597331	63041	310414	73009	359495	40905	201417	42708	210296	23963	118004
(b) REGLARE ANTEROTORICĂ	η_{opt} [%]	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81
	P_{opt} [kW]	33	163	33	163	33	163	33	163	33	163	33	163
	$e=\frac{\int_0^T P\times dt}{P_{opt}\times T}$ [%]	0,75	0,75	0,85	0,85	0,83	0,83	0,90	0,90	0,91	0,91	0,94	0,94
	$\int_0^T P\times dt$	198826	979017	226821	1117123	221359	1089972	239016	1176909	241322	1188265	250786	1234866
	Economia de energie fată de reglarea prin robinet [kW]	70941	349313	38890	191235	48408	238358	26695	131449	28445	140065	14925	73492

Notă. La ultimul rînd unitatea de măsură este kWh.

Figura 8 *a* reprezintă domeniul de reglare al celor două pompe obţinut prin micşorarea turaţiei, iar în figura 8 *b* pentru aceleaşi pompe domeniul de reglare s-a obţinut prin modificarea unghiului paletelor unui dispozitiv anterotoric.

În diagramele din figura 9 este prezentată variaţia consumului specific de energie $e(\%)$ obţinut prin scăderea raportului Q_{min}/Q_{opt} în cele două cazuri de reglare (a) şi (b) şi în situaţiile de exploatare caracterizate prin curbele A, B, C.

Din tabelul 1 şi din curbele $e = f(q)$ din figura 9 rezultă comparativ energia specifică, e, şi economiile de energie efectiv realizate într-o perioadă de exploatare $T = 8000$ ore prin reglarea turaţiei şi prin reglarea anterotorică faţă de reglarea prin robinet, în două ipoteze :

1) $Q_{min} = 0{,}6\ Q_{opt}$ şi 2) $Q_{min} = 0{,}8\ Q_{opt}$.

Analiza comparativă făcută între aceste procedee de reglare pune în evidenţă avantajele economice ale reglării caracteristicilor pompelor prin modificarea turaţiei.

Se poate observa că economia de energie realizată prin modificarea turaţiei este maximă în instalaţiile cu înălţime statică de pompare egală cu zero, de tipul A, unde, caracteristica $H_t(Q)$ are relativ aceeaşi alură cu parabola $\eta_{max}(n)$ (vezi fig. 3).

În instalaţiile de tipul C, cu pierderi de sarcină neglijabile economia de energie este mai redusă. În astfel de instalaţii dacă sînt montate pompe avînd caracteristica $Q(H)$ aplatizată (fig. 10), se poate ajunge practic la compromiterea funcţionării pompei numai prin reducerea turaţiei datorită scăderii frecvenţei din reţeaua de alimentare. Din acest exemplu rezultă importanţa cunoaşterii celor două caracteristici la alegerea pompei şi a procedeului de reglare.

Concluzii

În multe domenii industriale pompele centrifuge trebuie să fie instalate pentru a funcţiona în condiţii variabile de exploatare. Adaptarea pompelor la cerinţele tehnologice se face în mare măsură prin obturarea conductei de refulare, procedeu neeconomic şi uneori cu implicaţii chiar asupra fiabilităţii agregatelor de pompare şi organelor de strangulare.

Alegerea procedeului optim de reglare trebuie făcută în corelare cu tipul pompei şi cu tipul caracteristicii instalaţiei în care lucrează pompa.

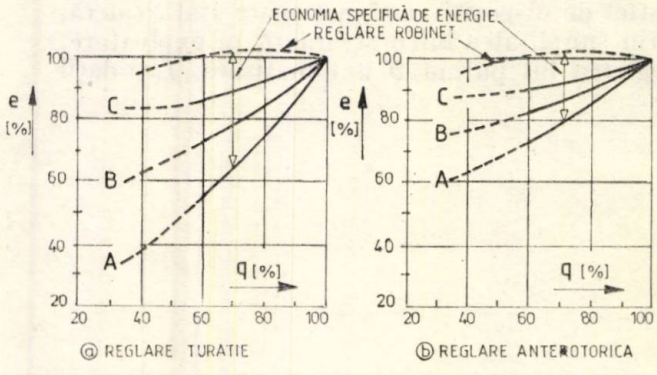


Fig. 9. Variaţia consumului specific de energie $e(q)$ într-o perioadă de exploatare T prin două sisteme de reglare (a; b) la o pompă cu numărul caracteristic k ≈ 1,7.

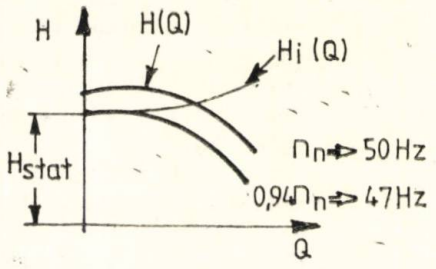


Fig. 10. Caracteristici pompă-instalaţie neadecvate reducerii turaţiei.

Reglarea prin modificarea turaţiei este cel mai avantajos procedeu de reglare. Odată cu aplicarea procedeelor electronice la acţionarea motoarelor electrice, reglarea turaţiei a fost deja extinsă în unele ţări la scară industrială. În cazul pompelor de putere mică sistemul automat de reglare a turaţiei este introdus de unele firme [1,2] în fabricaţia de serie.

Şi în cazul pompelor de putere foarte mare, P> 10 000 kW, există tendinţa să se înlocuiască reglarea turaţiei cu transmisii hidraulice (de exemplu pompele de alimentare) prin antrenare directă cu motoare cu turaţie variabilă [1].

Celelalte sisteme de reglare prin modificarea poziţiei paletelor rotorice şi prin modificarea unghiului paletelor unui dispozitiv anterotoric trebuie extinse în scopul economiei de energie în cazul pompelor de debite mari şi înălţimi de pompare mici.

Aceste două procedee de reglare conduc la economii comparabile cu cele realizate prin reglarea turaţiei în anumite instalaţii de pompare astfel: pompele axiale cu palete reglabile sînt economice cînd debitul variază în limite largi, iar pierderile în sistem sînt mici (vezi fig. 5 *a*).

Procedeul de reglare prin dispozitiv anterotoric utilizat la pompele diagonale k = 1,5—3 este, de asemenea, comparabil din punctul de vedere al economiei de energie cu reglarea turaţiei în cazul instalaţiilor la care variază înălţimea H_{stat} (fig. 5 *b*), datorită formei ovoidelor de egal randament. De menţionat că un astfel de dispozitiv cu funcţionare statică oferă, prin simplitatea lui, o siguranţă în exploatare, reglarea lui putînd fi automatizată. Instalaţii cu H_{geo} variabil sînt întîlnite la noi în ţară în cazul staţiilor de pe Dunăre, datorită nivelurior variabile pînă la circa 10 m.

Se ştie că în centralele termoelectrice convenţionale şi în special în centralele nucleare, este nevoie de o mare cantitate de apă de răcire, care variază în funcţie de anotimp şi de sarcina turbinelor (pentru fiecare MW produs este nevoie de circa 180 m³/h apă de răcire). În aceste instalaţii de răcire procedeele de reglare a caracteristicilor pompelor trebuie extinse cu prioritate.

În scopul aplicării procedeului de reglare anterotoric la pompele de răcire condensator de la CNE Cernavodă ($P = 3500$ kW) şi la pompele care asigură din Dunăre toate consumurile centralei ($P = 1400$ kW) s-a experimentat un dispozitiv de reglare anterotoric la o pompă de răcire MV1002 ($P = 800$ kW) la CET Galaţi. S-a obţinut la acest agregat în lunile de iarnă o reducere a puterii cu circa 150—200 kW prin reglarea economică a debitului, fără să fie diminuată puterea grupului.

Este de aşteptat ca aceste sisteme de reglare prin modificarea turaţiei (procedeul cel mai general ca utilizare), prin reglarea rotorică şi anterotorică să se generalizeze şi la noi în ţară, în scopul economiei de energie.

Bibliografie

[1] Bieniek, K,. Gröniug, N. *Die Regelung der Forderleisteng von Kreiselpumpen nuttels electronischer Drehzahlverstellung.* In: KSB Tehnische Berichte, Heft 22, iunie, 1987.

[2] Kurtz, G. *hiatronic^R m, ms-ein elektronisches Regelsystem für kreisel pumpen mit stufenloser Drehzahlverstellung.* In: KSE Technische Berichte, Heft 22, iunie 1987.

[3] Handwerker, Th., Kuch, I., Richter, H. *Ölhgdroulisch — mechanisches Verstelgetribe nuit Mikrocomputer — Regelung für halbaxiale Propellerpumpen im Kuhlwassekreislauf eines Kraftwerkes.* In: KSB Tehnische Berichte, Heft 22, iunie 1987.

[4] Surek, D. *Ergebnisee beim Einsatz, von Frequenzum — richtern für drehzahlvariable Pumpenaggregate.* In: Information — Pumpen und Verdichter 1, 1985.

[5] Surek, D. *Auslegung von drehzahlregelbaren Pumpenaggregaten. Information* — Pumpen und Verdichter, 1, 1987.

[6] Lynch, T. *Variable-speed drives for pumping.* In: World Pumps, mai 1987.

[7] Saalfeld, K. *Die Vordrallregelung von schnelläufigen Kreiselpumpen.* In: BWK, nr. 11, 1959.

(Primit la 17 noiembrie 1987, acceptat la 4 ianuarie 1988)

Criterii şi cerinţe privind alegerea acţionărilor electrice cu turaţie variabilă în serviciile interne ale centralelor electrice

Ing. Nicolae Oprişiu*

Descriptori: acţionări cu turaţie variabilă, centrale electrice

Generalităţi

Introducerea acţionărilor electrice cu turaţie reglabilă în industrie şi implicit pentru unele acţionări din centralele electrice a fost posibilă datorită progreselor din ultimii zece ani în domeniul electronicii de putere. Aceste progrese au favorizat şi încurajat construirea convertizoarelor statice de frecvenţă de puteri mari la scară industrială. De asemenea, perfecţionări importante au fost aduse şi în electronica de comandă prin specializarea circuitelor integrate şi a microprocesoarelor destinate logicii de conducere a maşinilor electrice asociate cu convertizoare statice de frecvenţă.

Aceste perfecţionări au efecte pozitive şi sub aspect economic, în sensul scăderii preţului de cost al acţionării, care, comparativ cu o acţionare clasică, este mai mare.

Principalul stimulent în introducerea acţionărilor reglabile în centralele electrice îl constituie economia de energie electrică, rezultată ca urmare a eliminării mijloacelor mecanice de reglare a debitelor fluidelor. Astfel, actualele procedee de reglare a debitelor la pompe se realizează fie prin variaţia vitezei de rotaţie a pompei cu ajutorul cuplei hidraulice avînd pierderi de alunecare, fie prin intermediul unei vane de reglaj montată la refularea pompei. Acest procedeu de reglare prin laminarea fluidului în vană se efectuează cu pierderi mari de putere. Reglarea debitului prin by-pas se utilizează cu prudenţă, deoarece pierderile în acest caz sînt foarte mari.

La ventilatoarele de aer sau gaze reglarea debitelor se realizează pe cale mecanică, prin intermediul unor aparate directoare sau şibere, care introduc pierderi de putere.

În toate cazurile menţionate, reglajul se efectuează pe cale mecanică, menţinînd turaţia motorului electric de antrenare la valoarea nominală. Sistemul de antrenare cu turaţie reglabilă a motoarelor electrice asincrone sau sincrone alimentate prin convertizoare statice de frecvenţă elimină dezavantajele legate de pierderile de energie şi simplifică lanţul cinematic al acţionărilor. Reglarea debitelor fluidelor se efectuează direct prin reglarea turaţiei motorului, eliminîndu-se cuplele hidraulice, multiplicatoarele sau reductoarele de turaţie, vanele de reglaj sau by-pass şi aparatele directoare.

Economiile de energie devin foarte mari, mai ales pentru acţionările de puteri foarte mari destinate blocurilor energetice de mare putere, mărind totodată disponibilitatea energiei electrice livrate.

Acţionări electrice cu turaţie reglabilă pot fi implementate în centrale, la electropompele de alimentare, ventilatoarele de gaze şi aer, pompele de circulaţie şi condens şi la pompele de termoficare.

După cum reiese şi din literatura de specialitate introducerea acţionărilor reglabile în centrale este anevoioasă, în special datorită punctului de vedere, de multe ori nefavorabil, al exploatării. Justificarea constă în faptul că noul echipament fiind foarte complex creează probleme suplimentare de întreţinere şi asigurare a continuităţii în funcţionare.

Pompele şi ventilatoarele la care se montează acţionări reglabile sînt agregate de bază. Ieşirea din funcţiune a unuia dintre ele compromite funcţionarea blocului energetic. Din acest motiv componentele electronice trebuie să aibă fiabilitate ridicată.

1. Opţiuni şi cerinţe pentru acţionările reglabile destinate centralelor electrice

a) Prima cerinţă impusă echipamentelor este aceea de a putea funcţiona în mediu cu praf şi umiditate ridicată.

Maşina de curent continuu iese din start din competiţie pentru că, datorită condiţiilor impuse de mediu şi gamei restrînse de fabricaţie, acestea se realizează la puteri relativ mici pentru turaţii mari. Rămîn competitive sistemele de antrenare cu motor asincron şi sincron, alimentate prin convertizoare statice de frecvenţă.

Gamele de puteri şi turaţii necesare :

— pentru electropompele de alimentare $P = 4000-8000$ kW şi turaţia 3000—6000 rot/min ;

— pentru ventilatoare : $P = 400-3500$ kW şi turaţia 500—1000 rot/min.

b) Pînă la puteri de ordinul 1 MW şi 6000 rot/min se pot realiza convertizoare de frecvenţă asociate cu motoare asincrone cu rotorul în scurtcircuit. Limitarea în putere este determinată de faptul că sistemul funcţionează cu comutaţie forţată. Deşi apar limitări în putere, tentaţia de-a fi utilizat este mare deoarece motorul asincron cu rotorul în scurtcircuit rămîne cel mai robust motor, avînd o construcţie simplă, gabarit redus, disponibilitate şi randament ridicat, necesitînd o întreţinere modestă.

* Ing. Nicolae Oprişiu — Institutul de Cercetări şi Modernizări Energetice, Bucureşti.

c) Pentru puteri și turații mari singurul sistem realizabil este acela cu motor sincron asociat cu convertizor de frecvență. Beneficiind de tensiunea electromotoare generată de mașină dispare problema comutației forțate a tiristoarelor, fiind un sistem autopilotat. Acest tip de acționare se pretează la antrenarea electropompelor de alimentare de puteri mari și turații pînă la 6000 rot/min. În acest caz rotorul se execută în varianta cu poli înecați și eventual cu transformator rotitor pentru evitarea inelelor.

d) Un alt sistem de acționare reglabilă competitiv pentru puteri mari, dar turații mai mici ($n \leqslant 1500$ rot/min), este constituitdin motor asincron cu rotorul bobinat comandat cu cascadă subsincronă cu recuperarea energiei prin convertizor. Plaja de reglaj a turației se situează în domeniul alunecărilor mai mici de 0,5. Sistemul prezintă dezavantajul existenței unui reostat de pornire necesar traversării plajei de turație, cu alunecare cuprinsă între 1—0,5. Convertizorul de recuperare a energiei de alunecare se dimensionează la o putere mai mică corespunzătoare reducerii tensiunii în rotor la $s.U_r$.

Sistemul poate fi luat în considerație și utilizat cu prudență pentru electropompe de alimentare și ventilatoare, dar numai pentru centrale cu grad redus de poluare. Restricțiile sînt generate de existența inelelor rotorului, a înfășurărilor acestuia, cît și datorită reostatului de pornire.

e) Cerințe necesare acționărilor reglabile :

— sistemul trebuie să mențină turația la valoarea de consemn indiferent de variația cuplului rezistent ;

— limitarea curentului de pornire și frînare în timpul proceselor tranzitorii ;

— în gama de reglare a turației pînă la nominal, cuplul se va menține constant prin păstrarea fluxului în întrefier în jurul valorii nominale (raport $U/n = \text{ct.}$) ;

— peste turația nominală se va menține constantă tensiunea la bornele motorului, asigurîndu-se o funcționare cu flux diminuat și putere constantă ;

— viteză de răspuns ridicată impusă de sarcină ;

— diminuarea efectului armonicilor asupra motorului și asupra rețelei de alimentare prin utilizarea montajelor dodecafazate (pentru acționările de puteri mari) ;

— pentru plaja de reglaj a turației trebuie ca frecvența cuplurilor oscilatorii generate de armonici să nu coincidă cu frecvența proprie a liniei de arbori ;

— asigurarea ventilației motoarelor în toată plaja de reglaj al turației ;

— desensibilizarea instalației la goluri de tensiune de scurtă durată generate la bascularea sursei de alimentare sau scurtcircuite în rețea eliminate selectiv și revenirea turației la valoarea de consemn ;

— asigurarea unui grad de protecție ridicat (IP-55) necesar funcționării în mediu poluat ;

— la dimensionarea sistemului se va ține cont de pierderile suplimentare în mașină generate de armonicile de curent.

2. Influența armonicilor asupra funcționării motorului sincron alimentat prin convertizor de curent

Motorul sincron asociat cu convertizor de frecvență de curent este singura antrenare electrică cu viteză variabilă care satisface domeniul de puteri și turații mari. De aici rezultă folosirea lui preferențială pentru antrenarea electropompelor de alimentare și a suflantelor.

Alimentarea motorului sincron de la convertizorul de curent pune unele probleme speciale în comparație cu alimentarea de la o rețea obișnuită cu tensiune a cărei formă este bună. Motorul va trebui să funcționeze în regim supraexcitat cu factor de putere capacitiv, pentru a permite obținerea tensiunilor electromotoare necesare comutației tristoarelor, chiar și în domeniul turațiilor mici.

Convertizorul alimentează statorul mașinii cu curenți trapezoidali. În cursul comutației curentului de la un tiristor la altul apar vîrfuri pe unda de tensiune (fig. 1) dependente de viteza de creștere a curentului (panta formei trapezoidale). Acestea provoacă solicitări ale înfășurării statorice și trebuie luate în considerație la alegerea și dimensionarea izolației.

Forma trapezoidală a curentului, fiind o funcție periodică nesinusoidală de perioadă 2π, se poate descompune în serie Fourier, rezultînd o fundamentală sinusoidală și armonici de rang $\nu = 6K \pm 1$ în care $K = 1, 2, \ldots, n$, considerînd pulsațiile de curent simetrice, iar fazele motorului conectate în stea.

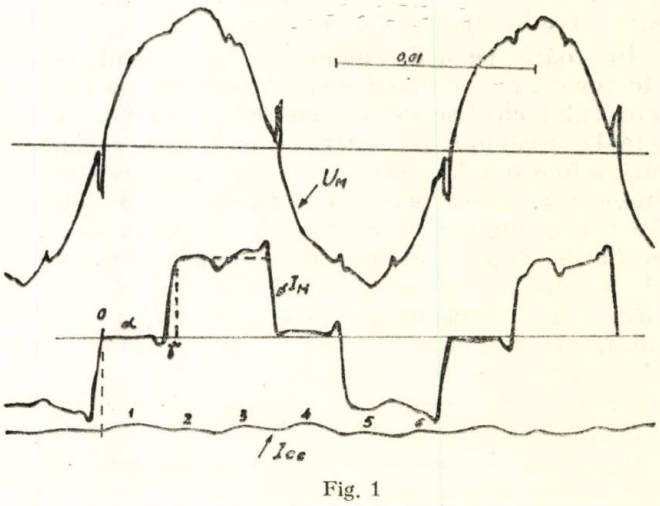


Fig. 1

Numai cîmpul învîrtitor generat de fundamentală este util pentru producerea cuplului motor.

Armonicele de rang ν provoacă pierderi suplimentare și cupluri oscilatorii, neputînd fi suprimate de motor deoarece sînt impuse de circuitul exterior.

Fundamentalele curenților statorici creează un cîmp învîrtitor ce se compune cu cîmpul inductor, rezultînd regimul sincron al mașinii.

Armonicele superioare ale curenților statorici creează cîmpuri învîrtitoare față de rotor, a căror viteză unghiulară este ($\pm$ 6K Ω_1). Astfel față de aceste armonici rotorul joacă rol de indus în scurtcircuit.

Înfășurarea de amortizare are un rol important deoarece fiind plasată în imediata vecinătate a întrefierului și prezentînd o rezistență mică, atenuează cîmpurile rezultante de pulsație ($\pm$ 6 K ω_1)

În cazul montajului hexafazat cîmpul învîrtitor invers de rang 5 și cel direct de rang 7 produc în înfășurarea de amortizare rotorică armonici de rang $\pm$6, iar cele de rang invers 11 și direct 13 produc armonici de rang $\pm$ 12 (la fel 17 ; 19 ...).

În cazul montajului dodecafazat ce presupune construcția hexafazată a mașinii, armonicile rotorice de rang 6 sînt nule.

Armonicele care acționează în rotor produc cupluri oscilatorii care nu pot fi neglijate. Cuplurile oscilatorii ale armonicilor -5 și $+7$ oscilează cu de 6 ori frecvența fundamentalei. Viteza lor în raport cu fundamentala cîmpului este :

$$-5\omega_1 t - \omega_1 t = -6\omega_1 t$$

$$+7\omega_1 t - \omega_1 t = 6\,\omega_1 t$$

Aceste cupluri depind de mărimea curentului statoric, iar la valoarea nominală a acestuia pot atinge circa 14% din cuplul nominal.

Cuplurile oscilatorii date de armonicele de rang superior (-11 ; $+13$), (-17,$+19$) ... care oscilează cu o frecvență de 12 f_1 ; 18 f_1 ... au valori mici, ele pot fi neglijate începînd de la rangul 17, deoarece amplitudinea lor în curent este foarte mică.

Cuplurile oscilatorii pot avea efecte negative asupra funcționării stabile a mașinii dînd naștere la vibrații și solicitări la torsiune a liniei de arbori. Prin dimensionare, trebuie evitate punctele de rezonanță a liniei de arbori, în gamele de turații necesare.

Pierderile suplimentare în cuprul înfășurării statorice cauzate de regimul armonic sînt cu circa 10% mai mari decît în cazul alimentării în curent sinusoidal.

Unghiul de comutație influențează amplitudinea armonicilor din curentul absorbit de motor. Acestea se micșorează odată cu creșterea unghiului de comutație.

3. Pornirea lentă a motoarelor mari asincrone utilizînd convertizoare statice de frecvență de puteri mici

Pornirea prin convertizor de frecvență a motoarelor asincrone cu rotorul în scurtcircuit și apoi cuplarea lor la rețea prezintă avantaje legate de micșorarea solicitărilor electrice, mecanice și termice, care sînt foarte mari în cazul pornirii directe.

Avînd în vedere că în majoritatea aplicațiilor pornirea motoarelor se efectuează în gol, urmînd preluarea de sarcină, dimensionarea convertizorului se face la o putere mică în raport cu puterea motoarelor. De asemenea, la frecvențe mici, necesare în timpul procesului de pornire, cuplul dezvoltat de motor este mare. Aceste avantaje creează posibilitatea pornirii fără șoc a motoarelor ce antrenează utilaje ale căror momente de inerție sînt foarte mari.

O aplicație interesantă destinată centralelor termoelectrice este pentru acționările unde frecvența pornirilor este mare. Din această categorie fac parte morile de cărbune, care în

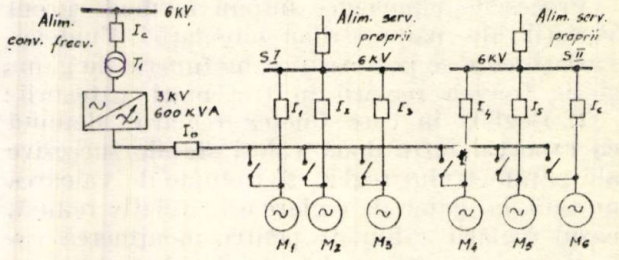


Fig. 2. Pornirea prin convertizor de frecvență a morilor de cărbune.

plus au un regim de pornire foarte greu din cauza momentului de inerție mare. Pornirea prin convertizor de frecvență ar avea și avantajul eliminării cuplajelor hidraulice necesare la pornirea directă.

În figura 2 se prezintă o schemă de pornire prin convertizor a celor 6 mori de cărbune ale unui grup energetic. Pornirea se efectuează pe rînd, utilizînd un singur convertizor.

După finalizarea pornirii prin convertizor conectarea la rețea se efectuează prin gol de tensiune. Astfel, cu un convertizor de frecvență de tensiune (sau curent) de circa 600 kVA, 0—50 Hz se pot porni motoare cu puteri pînă la 1500 kW.

Tehnica pornirii prin convertizor de frecvență poate fi aplicată la motoarele cu puteri nominale diferite și nu se limitează numai la cele de puteri foarte mari.

Concluzii

Este oportun a se introduce acționări reglabile în centralele electrice, din cauza avantajelor legate de : economia de energie electrică, simplificarea lanțurilor cinematice ale acțio-

nărilor şi uşurarea proceselor de pornire a motoarelor.

Principalele agregate la care se pot introduce acţionări reglabile sînt electropompele de alimentare, ventilatoarele şi morile de cărbune.

Acţionările reglabile de puteri mari şi turaţii ridicate se pot realiza cu motoare sincrone asociate cu convertizoare de curent.

Acţionările cu puteri mai mici de 1 MW se pot realiza cu motoare asincrone cu rotorul în scurtcircuit, asociate cu convertizoare de tensiune sau curent. Soluţia poate fi aplicată la pornirea motoarelor cu momente de inerţie mare (mori de cărbune).

Dezavantajele acţionărilor electrice reglabile constau în : complexitate, gabarite mari, regim armonic pronunţat şi motoare special dimensionate.

Introducerea în centrale de acţionări reglabile la agregatele de bază presupune utilizarea componentelor electronice cu fiabilitate ridicată.

(Primit la 11 noiembrie 1987, acceptat la 8 ianuarie 1988)

Analiza posibilităţilor de reglare a parametrilor tehnologici prin variaţia turaţiei agregatelor

Dr. ing Ioan Desiré Suceveanu*

Descriptori: acţionări cu turaţie variabilă

Industria chimică şi petrochimică reprezintă una din ramurile economiei naţionale în care cantitatea de energie necesară pentru circularea şi comprimarea fluidelor are poate ponderea cea mai mare din consumul total.

Procesele tehnologice impun în mod curent variaţii ale parametrilor circulaţiei fluidelor, variaţii care se pot clasifica în funcţie de gama şi de finetea reglării în trei mari categorii :

1. Reglări în care finetea reglării, definită ca raportul între două valori stabile succesive ale parametrului reglat, se apropie de valoarea unitară, iar gama de reglare este relativ redusă, cazul reglării automate pentru menţinerea valorii unui parametru funcţie de alţi parametri tehnologici după legea de reglare impusă de tehnologie.

2. Reglări în gamă largă şi cu finete redusă impuse fie de prescripţiile tehnologice în cadrul unei şarje de fabricaţie, fie de variaţiile de volum ale producţiei.

3. Adaptarea prin reglare a parametrilor de ieşire ai pompelor, ventilatoarelor şi compresoarelor la parametrii reţelei în care debitează, adaptare impusă de necesitatea încadrării în categoriile de sortotipodimensiuni ale fabricaţiei de serie.

În toate cele trei categorii se utilizează azi, în marea majoritate a cazurilor, sisteme de reglare prin laminarea sau recircularea fluidelor care, deşi răspund cerinţelor privind performanţele şi stabilitatea reglării, au principalul dezavantaj că introduc pierderi de energie electrică prin utilizarea numai a unei părţi din energia absorbită din reţea de electromotorul de acţionare în scopuri utile tehnologiei.

În condiţiile actuale, ideea de a accepta deliberat pierderi de energie nu mai poate fi tolerată.

Alegerea unei metode de reglare trebuie să ţină seama totdeauna atît de gradul de satisfacere a exigenţelor tehnice şi funcţionale, cît şi de exigenţele de ordin economic, între care economicitatea reglării este un indice de bază.

În comportarea agregatelor cu caracteristică parabolică a dependenţei cuplului rezistent de turaţie — pompe, ventilatoare, compresoare centrifuge sau axiale — există o interdependenţă între debitul Q, presiunea H, puterea P, randamentul η şi turaţia n. Primii trei parametri sînt proporţionali cu turaţia, pătratul şi respectiv cubul acesteia, conform relaţiilor 1, 2 şi 3, iar curba randamentului în funcţie de turaţie are o creştere lentă pînă la punctul optim şi apoi scade cu creşterea turaţiei.

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (1), \qquad \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \quad (2), \qquad \frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 \quad (3.)$$

Puterea absorbită la o anumită turaţie se calculează cu relaţia (4), în care Q, H şi η_p se determină cu uşurinţă din diagramele de funcţionare puse la dispoziţie de fabricile constructoare, iar ρ este dentitatea fluidului :

$$P = \frac{Q \cdot H \cdot \rho \cdot g}{\eta_p} \qquad (4)$$

Dintr-o analiză sumară a diagramelor de funcţionare rezultă că viteza variabilă este, de fapt, un sistem automat de reglare, care poate avea schema bloc din figura 1.

Comparatorul **C** realizează diferenţa între mărimea de referinţă u_i şi mărimea de reacţie u_r produsă de elementul de măsură M_t a parametrului de ieşire şi furnizează mărimea de acţionare u_a a regulatorului **RP**. Acesta prelucrează informaţiile de intrare după legea impusă prin construcţia sa şi produce la ieşire mărimea de comandă u_c care, comparată succesiv cu

* Dr. ing. Ioan Desirè Suceveanu — Institutul de Inginerie Tehnologică şi Proiectare pentru Industria Chimică, Bucureşti.

mărimea de reacție a vitezei u_n și de limitare u_l furnizate de elementele de măsură a turației M_n și a curentului absorbit din rețea M_c, se aplică regulatorului de viteză **RT** care comandă elementul de execuție **E**.

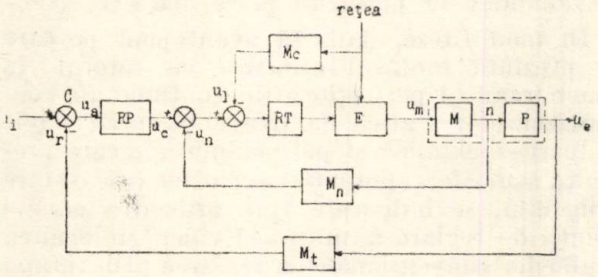


Fig. 1

Elementul de execuție poate fi un redresor comandat, un convertizor static de frecvență cu circuit intermediar de curent continuu sau un cicloconvertizor a cărui mărime de ieșire u_m, aplicată ansamblului motor-mașină de lucru, asigură modificarea dorită a mărimii de ieșire u_e.

Un asemenea sistem are următoarele caracteristici:

— lucrează în ciclu închis, existînd în permanență o legătură directă între mărimile de intrare și cele de ieșire și o legătură inversă, de reacție, între ieșire și intrare;

— în bucla de reglare intervin și organe de protecție ale ansamblului motor-mașină de lucru;

— poate funcționa atît în regim staționar, cît și în regim tranzitoriu;

— implică o amplificare a puterii în sensul că, la intrare, după nivelul de comparație, există cel mai scăzut nivel al puterii, micro sau miliwați, pe cînd la ieșire se pot atinge puteri de ordinul megawaților;

— asigură modularea puterii cu precizie, rapiditate și economic;

— permite reglajul procesului tehnologic în condiții optime din punctul de vedere al economiei de energie și cu inerție redusă;

— elimină șocurile de curent la pornire prin accelerare controlată.

La acționarea cu viteză variabilă, așa cum rezultă din curbele din figura 2, randamentele la cele două debite mult diferite sînt aproximativ egale, economia de energie fiind proporțională cu mărimea gamei de reglare și cu puterea nominală a mașinilor în cauză.

Bine înțeles că, în acest caz, în relația (4) trebuie introduse la numitor și randamentele electromotorului și redresorului sau convertizorului static de frecvență.

Fără a insista cu exemple asupra mărimii economiilor de energie electrică ce se pot realiza, exemple prezentate cu alte ocazii [1], putem afirma că se pot reduce consumurile specifice de energie electrică prin utilizarea turației

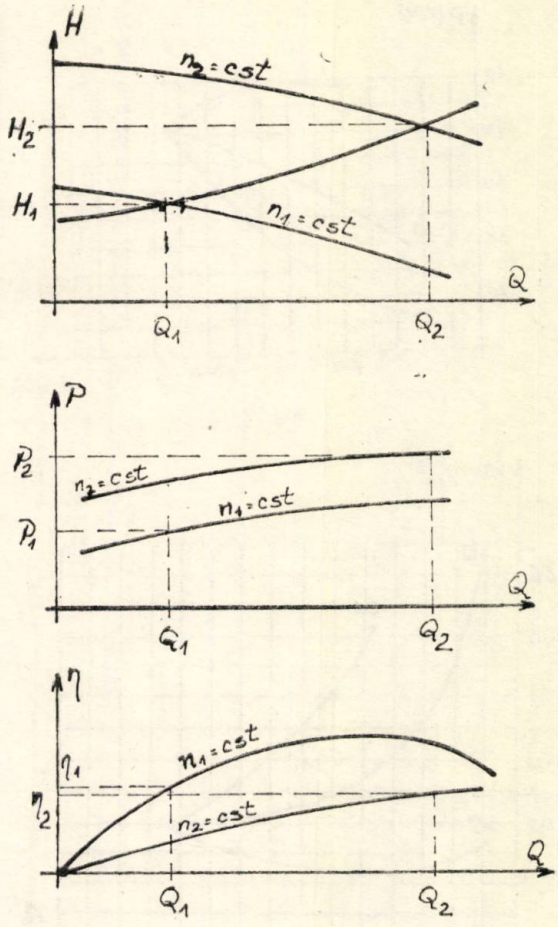


Fig. 2

variabile la ultimile două categorii de reglare a parametrilor menționate la început.

O imagine sintetică a economiilor ce se pot obține o dau curbele prezentate în figurile 3, 4 și 5. În figurile 3 și 4 sînt trasate variațiile puterii absorbite, în kW, și respectiv variația puterii specifice, în kW/m³, cu mărimea debitului în cazurile recirculării (a), laminării (b) și reglării turației (c).

În figura 5 sînt trasate, în procente, curbele de variație a puterii absorbite de ventilatoare funcție de debit, în cazul utilizării clapetelor de reglare (a) și în cazul reglării turației (b), precum și curba economiei posibile de energie electrică (c) la reglarea prin turație.

Variația turației agregatelor se poate realiza printr-o varietate de soluții, aplicabile de la caz la caz, în funcție de performanțele cerute și de eficiența lor economică, cum ar fi:

— motor de curent continuu cu redresor comandat, gama de reglare 1 : 100, precizia reglării 0,1%, randament mediu 0,93, utilizare indicată în special în medii fără pericol de explozie;

— motor asincron cu rotorul în scurtcircuit asociat cu diferite tipuri de convertizoare statice

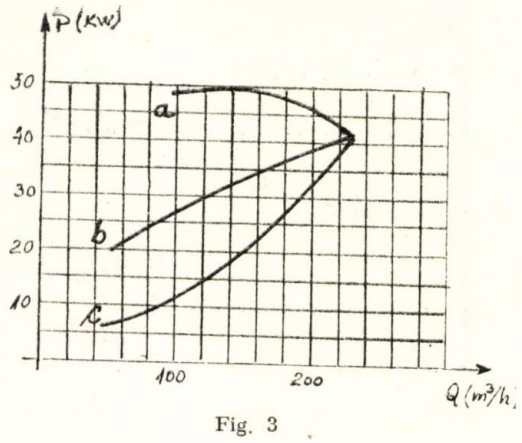


Fig. 3

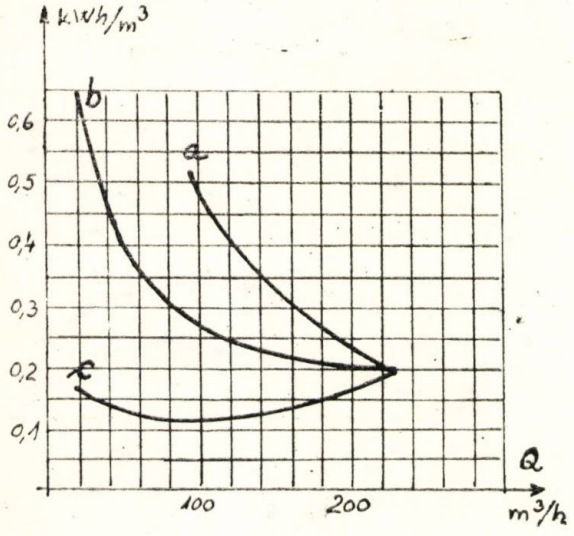


Fig. 4

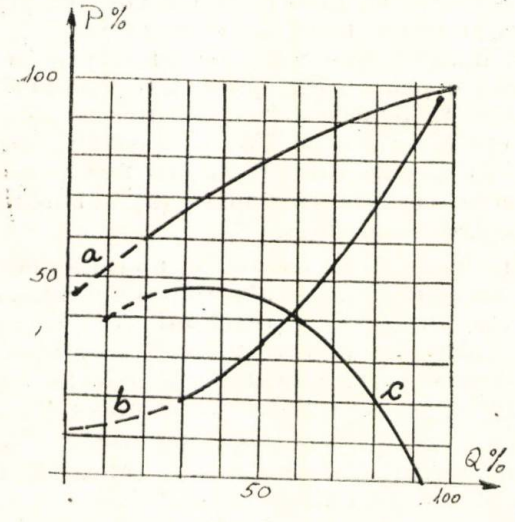


Fig. 5

de frecvență, gama de reglare 1 : 20, precizia reglării 0,5%, randament mediu 0,89;

— motor asincron cu rotor bobinat în cascadă subsincronă cu recuperarea energiei, gama de reglare 1 : 3, precizia reglării 1%, randament mediu 0,93, recomandat la puteri de peste 300 kW;

— motor sincron autopilotat prin convertizor static de frecvență, gama de reglare 1 : 20, precizia reglării 0,5%, randament mediu 0,92, recomandat la puteri de peste 300 kW.

În mod firesc, datorită avantajelor pe care le prezintă motorul asincron cu rotorul în scurtcircuit și perfecționările continue ale convertizoarelor statice de frecvență, preferințele industriei chimice și petrochimice, în care prezența atmosferei potențial explozive este o stare obișnuită, se îndreaptă spre utilizarea acestei soluții de reglare a turației. Evident, înlocuirea reglărilor convenționale cu reglarea prin turație a parametrilor pompelor, ventilatoarelor și compresoarelor este dictată de eficiența economică ce se poate obține.

Dar nu se poate să nu remarcăm că, cu puține excepții, această metodă a fost puțin luată în considerare pînă acum în industria chimică și petrochimică românească, deși pe plan mondial aceste metode sînt promovate cu succes în scopul reducerii consumurilor specifice de energie electrică.

Una din excepții o constituie cazul celor cinci ventilatoare de gaz rezidual care alimentează cele cinci cazane recuperatoare ale CET Carbosin Copșa Mică, ce produce abur tehnologic și energie electrică utilizînd pentru ardere gaze reziduale de la instalațiile de producere a negrului de fum în amestec cu gaz metan. Fiecare ventilator, cu un debit nominal de 85 000 m³/oră (în condiții normale de presiune și temperatură), funcționează antrenat de către un electromotor asincron cu puterea nominală de 132 kW alimentat de un convertizor static de frecvență de tip CSFV-200, fabricație Electrotehnica București. Gama de reglare a turației este de la 50 la 500 rot/min. În medie, se realizează o economie de energie electrică de 30 kWh, ceea ce înseamnă, pentru cinci ventilatoare funcționînd cîte 5000 ore/an, o economie anuală de circa 750 MWh, costul instalării celor cinci convertizoare amortizîndu-se în circa cinci ani de funcționare.

Una din cauzele aplicării reduse în țară a soluțiilor în discuție este faptul că, deși specialiștii în acționări electrice au preocupări și rezultate deosebite în acest domeniu, această modalitate de reglare este ignorată în mare măsură de tehnologi ca urmare a slabei popularizări a avantajelor care se pot obține și a dificultăților întîmpinate de aceștia în efectuarea unui studiu tehnico-economic corect al soluției în fiecare caz concret. Ori de cîte ori intervin game largi de reglare și cînd numărul de ore de funcționare la valori reduse ale parametrilor este mult mai mare decît numărul orelor de funcționare la valori nominale, tehnologul și automatistul ar trebui să solicite colaborarea specialistului în acționări electrice în vederea

alegerii celei mai bune soluții, inclusiv din punctul de vedere al consumului de energie.

Uneori, poate fi utilă chiar combinarea metodelor convenționale de reglare cu metoda reglării prin turație, utilizînd un convertizor comun unei grupe de pompe pentru reglare grosieră, economisind energie, și reglare fină convențională. Această soluție permite reducerea substanțială a efortului de investiție și, deci, amortizarea rapidă a cheltuielilor, în special în cazul în care există variații impuse sau previzibile de capacitate de producție pe perioade lungi de funcționare.

De asemenea, se poate prevedea, tot în scopul reducerii efortului inițial de investiție, un singur echipament electronic de reglare pentru pompa în funcțiune și pentru rezerva acesteia sau un singur echipament electronic de reglare a turației pentru grupuri de pompe, comutabil după caz pe pompa ce necesită reglare.

Aplicarea acestor soluții este posibil a se face în cadrul acțiunilor de modernizare, pe baza bunei cunoașteri a desfășurării în timp a proceselor tehnologice și a unei colaborări eficiente între beneficiari și proiectanți. În acest scop sînt necesare acțiuni de instruire și pregătire a personalului din exploatare și proiectare, precum și analizarea fiecărei instalații puse în discuție de către colective interdisciplinare formate din tehnologi, automatiști și specialiști în acționări electrice.

O altă cauză care frînează implementarea convertizoarelor de frecvență o constituie gama redusă a fabricației de serie din țară și costurile specifice, în lei/kVA, mari ale convertizoarelor.

Cazul concret al temei de față nu impune convertizoarelor game foarte largi de reglare și nici scheme de comandă deosebit de complexe. Realizarea unor convertizoare ieftine, de puteri mici și medii, miniaturizate și specializate pentru acționarea reglabilă a pompelor și ventilatoarelor, ar facilita în mod deosebit economisirea de energie electrică la reglare.

Este necesar, de asemenea, ca fabricile constructoare de motoare electrice să-și diversifice, cît mai repede posibil, producția de motoare asincrone special destinate acționărilor cu viteză variabilă cu convertizoare statice de frecvență, care să răspundă următoarelor cerințe :

— deplasarea valorii minime a pierderilor totale în motor în gama de turații cerute de mașina de lucru prin alegerea frecvenței nominale în zona mediană de reglare a frecvenței ;

— prevederea ventilației forțate pentru funcționarea la turații mici ;

— echiparea electromotoarelor cu lagăre dimensionate pentru dublul turației nominale ;

— evitarea vibrațiilor printr-o construcție mecanică îngrijită ;

— aplicarea de măsuri pentru diminuarea cuplurilor parazite datorate armonicelor produse de convertizoarele de frecvență.

În același timp, ar fi util ca prospectele și cataloagele pompelor, ventilatoarelor, suflantelor și compresoarelor să conțină indicații clare privind posibilitățile de funcționare cu turație variabilă, inclusiv menționarea variantelor posibile de asociere cu sisteme de acționare cu turație reglabilă din producția de serie.

Este necesară testarea pe standul de probe a fiecărui tip de asemenea agregate, funcționînd cu turația reglabilă, în scopul stabilirii și verificării precise a domeniului de turații în care randamentele acestora se păstrează în limite acceptabile și a modului real în care variază parametrii agregatelor respective cu turația, în vederea asigurării unui reglaj cît mai exact în exploatare. În acest scop, se impune introducerea în standardele tehnice de ramură a probelor de tip și de lot cu funcționare la turație reglabilă și verificarea curbelor de variație a parametrilor cu turația.

Trebuie eliminate, de asemenea, și cazurile, destul de frecvente în prezent, de asociere de către fabricanți a pompelor și ventilatoarelor cu motoare electrice supradimensionate, ceea ce conduce totdeauna la scăderea randamentului global și a factorului de putere, deci la pierderi de energie electrică.

Calculul tehnico-economic necesar să stea la baza aplicării soluției trebuie să cuprindă toate aspectele fiecărei variante propuse și anume :

A — costul de investiție al echipamentului electronic de reglare a turației și al eventualului aparataj auxiliar necesar, defalcat pe ani în funcție de ratele de amortizare impuse de legislația în vigoare ;
— cheltuieli de instalare ;
— cheltuieli anuale de întreținere ;
— eventuale cheltuieli anuale necesare pentru ameliorarea factorului de putere.

B — evaluarea exactă a energiei electrice economisite anual, inclusiv reducerile de pierderi în rețele, la prețul de livrare din sistemul energetic național ;
— economia realizată prin reducerea secțiunii cablurilor de alimentare ;
— economii rezultate din dimensionarea aparatajului de alimentare, ținînd cont de diminuarea substanțială a curenților de pornire ;
— eventuale economii rezultate din eliminarea ventilelor regulatoare și înlocuirea lor cu ventile de tipul închis-deschis.

Diferența între cheltuielile anuale A și economiile B permite aprecierea exactă a eficienței economice a aplicării diverselor variante posibile, echivalente din punctul de vedere al cerințelor tehnice ale tehnologiei.

Considerăm că, în prezent, sînt create deja premisele pentru aplicarea pe scară largă a reglajului parametrilor tehnologici prin variația

turației agregatelor în scopul economisirii energiei electrice, existînd suficiente cazuri în care amortizarea investiției se poate face în scurt timp prin economia de energie electrică. Este necesară amplificarea eforturilor pentru a facilita implementarea acestor metode prin asigurarea aparatajului și electromotoarelor special destinate.

Pe lîngă impulsionarea, în vederea realizării cît mai rapide a măsurilor menționate, considerăm util a se alege, în cadrul acțiunilor de modernizare una sau mai multe instalații tehnologice în care să se aplice, evident pe baza unui studiu tehnico-economic, metodele de reglare prin variația turației a parametrilor pompelor, ventilatoarelor, suflantelor și compresoarelor și să se verifice practic eficiența pe termen lung a soluțiilor, utilizînd echipamente existente în prezent în fabricația de serie românească. În aceleași instalații ar putea fi apoi încercate, în condiții reale de exploatare, și echipamentele noi preconizate să se realizeze, existînd astfel date concrete pentru comparare și pentru determinarea eficienței lor.

Bibliografie

[1] Suceveanu, I. D., Țăruș, Gh. *Reglajul vitezei prin frecvență—sursă potențială de energie.* În: Energetica, 29, 1981, nr. 11—12, pag. 465—469.

[2] Suceveanu, I. D. *Studii privind perfecționarea și extinderea posibilităților de reglare a vitezei sistemelor de acționare cu motoare asincrone.* Teză de doctorat, Institutul Politehnic Iași, 1985, cap. 34, pag. 43—46.

[3] AEG-TELEFUNKEN. *Kreiselpumpen mit drehzahlverstellbaren Antrieben,* R.F.G.

[4] SCHORCH GMBH. *Energieeinsparung durch drehzahlveränderbare Drehstromantriebe,* R.F.G.

(Primit la 11 noiembrie 1987, acceptat la 8 ianuarie 1988)

DISCUȚII

Pe marginea referatelor prezentate și a discuțiilor purtate la masa rotundă, au fost reținute următoarele aspecte mai importante:

Ing. Vlad Stoian, director CCSIT pentru Pompe și Ventilatoare, arată că unitățile de concepție și fabricație de pompe și ventilatoare sînt interesate în soluția acționărilor cu turație variabilă în calitate de furnizori generali, apreciind-o ca fiind o cale importantă de economisire a energiei electrice. Consideră că este necesar să se realizeze o colaborare mai strînsă între utilizatori și furnizori, cu schimb reciproc de informații. Această colaborare va pune în evidență în primul rînd avantajele tehnice și economice ale reglării turației cu ajutorul convertizoarelor. De asemenea, specialiștii CCSIT pentru pompe și ventilatoare vor pune la dispoziția institutelor și beneficiarilor toate datele necesare privind caracteristicile de funcționare ale utilajelor.

Ing. Dumitru Țimpoe, director tehnic CFS-Săvinești, a prezentat explicațiile din cadrul combinatului, susținînd necesitatea extinderii acestor acționări cu atît mai mult cu cît la unele tehnologii nu există alternativă, iar economia de energie este o cerință actuală de mare importanță. Solicită ca CCSIT pentru Pompe și Ventilatoare să ofere informații obținute de pe standul de probă privind reglajul de turație în domeniul 60—100%. Institutele de proiectări tehnologice să organizeze compartimente speciale de specialiști care să asigure corelarea aspectelor tehnologice cu cele energetice. Exprimă părerea că ar fi util să se continue dezbaterea și să se adîncească problematica reglajului specific compresoarelor. Furnizorii de utilaje trebuie să soluționeze problemele puse de comportarea acționărilor cu convertizoare la golurile de tensiune. Consideră că experiența acumulată în unele întreprinderi din cadrul Centralei de Fibre Sintetice ar trebui cunoscută și valorificată de institutele și fabricanții de profil.

Ing. Ion Ioan, șef secție ISPIF, arată că în sistemele de irigații și îmbunătățiri funciare este instalată o putere de circa 4000 MW, motiv pentru care problema reglării pompelor reprezintă o preocupare deosebită. Reglarea debitelor prin dispozitive de strangulare nu corespunde regimurilor variabile ale acestor sisteme. Dat fiind numărul mare de stații de pom-

pare (circa 2000), consideră că este justificată asimilarea unui echipament specializat de reglaj pentru necesităţile irigaţiilor, putînd fi obţinută pe această cale şi o reducere a preţurilor.

Ing. Mircea Trandafir, IPROLAM—Bucureşti, precizează că eficienţa tehnico-economică a acţionărilor cu turaţie variabilă a fost dovedită în decursul mai multor ani de exploatare la acţionarea cilindrilor de laminare. S-a abordat introducerea acestei soluţii şi la ventilatoarele de mare putere; de exemplu, s-a justificat economic realizarea a 10 ventilatoare cu o putere instalată de 4440 kW în soluţia cascadă subsincronă, la laminorul de benzi la cald de la CS-Galaţi. Suplimentul de investiţii de 15,5 milioane lei conduce la o economie de energie electrică de 4,6 GWh/an la aceste instalaţii. Propune realizarea de familii de echipamente de acţionare cu turaţie variabilă, dedicate unui anumit tip de utilaj, odată cu perfecţionarea continuă a echipamentelor realizate pînă în prezent. Observă că furnizorul pentru astfel de instalaţii prevăzute de IPROLAM în proiecte trebuie să treacă mai repede de la stadiul de microproducţie (ICSIT-MTAE-Craiova) la fabricaţia de serie (Electroputere-Craiova). Consideră că propaganda tehnică în acest domeniu este insuficientă.

Ing. Mihai Roşu, şef secţie-IITPIC Bucureşti, susţine că oportunitatea introducerii reglajului cu viteză variabilă este evidentă, avînd în vedere în special economia de energie. IITPIC aşteaptă solicitări de la beneficiari pentru elaborarea de studii şi analize pe obiective concrete. De asemenea, propune să se facă experimentări direct în instalaţii industriale pentru obţinerea de date reale necesare în calculele tehnico-economice. Atrage atenţia asupra rezolvării problemei comportării la golurile de tensiune.

Ing. Laurenţiu Popescu, şef colectiv ICITPR-Ploieşti, consideră că este necesară o metodologie-breviar care pe, baza prescripţiei generale de analiză comparativă tehnico-economică a variantelor de acţionări, să detalieze aspectele şi datele de calcul necesare proiectanţilor. Arată că pe bază de calcule rezultă o recuperare a cheltuielilor de investiţii, mai mică de un an în cazul aplicării soluţiei la ventilatoarele de la răcitoarele cu aer. Durata anuală de funcţionare a utilajului tehnologic influenţează într-o măsură importantă alegerea soluţiei de acţionare.

Ing. Ion Georgescu, proiectant principal-IPA subliniază, pe baza experienţei IPA, necesitatea trecerii la aplicarea reglajului de turaţie cu ajutorul convertizoarelor statice. De regulă necesităţile de reglaj nu depăşesc jumătate din turaţia nominală. Atrage atenţia asupra faptului că licenţa pe baza căreia s-au asimilat în ţară robinetele de reglare satisface cerinţele într-o gamă restrînsă, iar majoritatea robinetelor de reglare existente sînt din import. Prin urmare, pe lîngă avantajele discutate, introducerea şi extinderea reglajului de turaţie conduce şi la reducerea importurilor. La sistemele cu turaţie fixă a agregatelor de pompare-comprimare, regimul de funcţionare se modifică în timp în raport cu regimul optim calculat, fapt ce necesită modificări costisitoare în instalaţii (de exemplu modificarea dimensională a rotoarelor pompelor etc.); aceste intervenţii sînt evitate la sistemele cu turaţie variabilă. Precizează că în ţara noastră, experienţa acumulată în domeniul convertizoarelor, de peste 20 ani, este mai bogată decît aceea din domeniul ventilelor reglabile sau cuplajelor variabile. Apare necesară o directivare în domeniul acţionărilor cu turaţie variabilă prin elaborarea de scheme şi proiecte tip pe care IPA le poate realiza pe bază de teme tehnologice.

Ing. Günther Weinrich, coordonator CTE-IPA, consideră că problema fiabilităţii sistemelor cu turaţie reglabilă trebuie să stea în centrul atenţiei atît al fabricanţilor de componente electronice, cît şi al producătorilor de convertizoare. În legătură cu influenţa golurilor de tensiune asupra funcţionării convertizoarelor, arată că există soluţii de limitare a acestor efecte negative. Randamentul motoarelor asincrone poate să scadă cu valori relativ mici la turaţii mai reduse faţă de turaţia nominală (0,4% pînă la 2,5%). Propune ca IPRS-Băneasa să asimileze în fabricaţie componentele specifice electronicii de putere, necesare realizării convertizoarelor de putere mare (tiristoare GTO, de tip disc de curent şi tensiuni mari, condensatoare de comutaţie şi module tranzistorizate de mare putere).

Dr. ing. Ion Dan, şef laborator ICPE-Bucureşti, susţinător al acestei tehnologii, consideră necesar să se facă o inventariere a tuturor instalaţiilor industriale la care se pretează acţionările reglabile. Dintr-o astfel de inventariere s-ar putea aprecia şi interesul pentru acţionările la medie tensiune pentru care există capacitate şi posibilităţi de realizare. Referindu-se la eficienţa soluţiilor, subliniază că în literatura de specialitate se afirmă că există aplicaţii în care termenul de recuperare a investiţiilor din economiile de energie este de ordinul lunilor. De asemenea, subliniază că pe plan mondial au fost realizate instalaţii cu un înalt grad de fiabilitate, care funcţionează continuu, cu o singură oprire planificată la trei ani.

Ing. Radu Lucian, CCSIT pentru Pompe și Ventilatoare, subliniază faptul că din toate metodele de reglare a debitului pompelor variația turației oferă cele mai mari avantaje economice și de fiabilitate. Conform unui studiu elaborat în SUA asupra a 1000 pompe din rafinării, cauzele de uzură prematură evidențiază pe prim plan funcționarea agregatelor la regimuri parțiale atunci cînd se produc strangulări prin vane.

În general, la pompe la o variație de 30% a debitului prin reglarea turației se obține față de reglarea prin strangulare o economie de circa 40%.

Exprimă opinia că pe lîngă necesitatea cunoașterii caracteristicilor turboagregatului de pompare se impune și cunoașterea caracteristicilor reale ale circuitului tehnologic servit în scopul alegerii soluției celei mai adecvate.

Dr. ing. Eugeniu Pavel, secretarul de redacție al revistei Energetica, intervine mulțumind gazdelor și participanților pentru reușita manifestării. Atrage atenția asupra faptului că elementele lineare ale convertizoarelor sînt generatoare de regim deformant și ca urmare se provoacă pierderi suplimentare de energie în rețelele de alimentare, apreciate la circa 0,25% din energia consumată (în ipoteza că se funcționează cu un factor de deformare de 5%, atît cît permite prescripția în vigoare). Este necesar să se îmbunătățească reglementarea actuală în acest domeniu, odată cu măsurile de prevedere și realizare a instalațiilor de filtrare. Tehnicitatea ridicată a acestor instalații necesită îmbunătățirea pregătirii personalului tehnic, în special a celui de exploatare și întreținere.

Ing. Ioan Măiereanu, DTSNRE-MEE, insistă ca furnizorii generali de instalații de acționare cu turație reglabilă să ia măsuri pentru omologarea acestora ca instalații integrate, cu evidențierea, pe bază de măsurători, a indicatorilor de calitate, în special de fiabilitate.

La dezbateri au mai participat : ing. Constantin Cristea—Inspecția Energetică, ing. Maria Petre—DMEA-MIChP, ing. Romulus Drăgan—director uzină în CFS-Săvinești, ing. Teodor Brîndă—cercetător ICSITEE, dr. ing. Ioan Desiré Suceveanu — IITPIC, dr. ing. Dan Micu — șef de laborator ICPE, ing. Victor Filip — CFS-Iași, ing. Radu Țiucra — I. Electrotehnica București, ing. Mircea Lungu—IPA București, dr. ing. Florin Alexe — șef lucrări I. P București.

În încheierea dezbaterilor, **dr. ing. Jean Constantinescu** a sintetizat următoarele idei rezultate din discuții :

— necesitatea unei inventarieri a instalațiilor la care se pretează reglajul de viteză cu convertizoare statice ;

— aducerea la bun sfîrșit a sarcinilor de asimilare. Respectarea ordinului MIEt privind fiabilitatea echipamentelor ;

— Centrul de Cercetări Științifice și Inginerie Tehnologică pentru Pompe și Ventilatoare să ofere toate informațiile necesare pentru echipamentele proiectate. Acestea să fie scrise în condițiile tehnice de furnitură ;

— organizarea unei analize la Intreprinderea de Pompe pentru examinarea cauzelor care au condus la nerealizarea randamentelor ;

— să se întreprindă acțiuni demonstrative pentru performanțe, niveluri de costuri etc., care să acopere o gamă cît mai largă de aplicații posibile ;

— pregătirea personalului cu sprijinul producătorilor de echipamente, în primul rînd a personalului mediu ;

— cu sprijinul institutelor de proiectări de profil, să se elaboreze proiecte și scheme tip pentru utilizarea reglajului de viteză în diferite tehnologii industriale ;

— adaptarea normativului cadru în vigoare, de analiză tehnico-economică comparativă la acțiunea de implementare a acționărilor cu turație reglabilă ;

— perfecționarea în continuare a echipamentului, inclusiv prin asimilarea de noi componente specifice electronice de putere ;

— sprijinirea ICSIT-MTAE pentru trecerea de la microproducție la fabricația în serie la Intreprinderea Electroputere ;

— prevederea mijloacelor necesare pentru filtrarea armonicelor superioare și revederea prescripțiilor existente privind limitele admisibile ale regimului deformant.

NOUTĂȚI

Din energetica mondială

ECONOMIA DE ENERGIE PRIN REGLAREA TURAȚIEI POMPELOR CENTRIFUGE*

Plecînd de la rezultatele experimentale obținute în urma determinării caracteristicilor unei pompe centrifuge, debitul — înălțimea de pompare — puterea absorbită de la rețea și randamentul pentru diferite turații cuprinse între 2900 min^{-1} și 1500 min^{-1}, autorii articolului „*Economia de energie obținută prin utilizarea acționărilor cu curent trifazat și turația reglabilă la pompele centrifugale*" (W. Becker și F. Picmaus), apărut în revista *Industrieanlagen*, fac o comparație economică analizînd patru moduri de reglare a performanțelor:

1 — prin robinet pe conducte de refulare;

2 — prin conectarea și deconectarea de la rețea a motorului electric;

3 — prin antrenarea pompei cu un motor cu poli comutabili (n = 1450 min^{-1}/960 min^{-1}, respectiv 24,2 s^{-1}/16 s^{-1});

4 — prin utilizarea unui convertizor de frecvență avînd un randament de 90%.

Exemplul analizează funcționarea unei pompe într-o instalație de alimentare cu apă sau într-o instalație de circulație pentru răcire sau vehiculare apă supraîncălzită.

Debitul mediu necesar: ziua = 250 m^3/h (0,07 m^3/s); noaptea = 180 m^3/h (0,05 m^3/s).

Pompa funcționează 12 ore/zi, timp de 1 an (360 zile).

Comparînd consumurile de energie în cele patru moduri de reglare a caracteristicii pompei rezultă o economie de energie de 125280 kWh/an, adică 47%, între modul 4 față de 1, și 51840 kWh/an, adică 27%, între modul 4 față de 3.

Sînt menționate și alte avantaje ale reglării turației pompelor prin convertizarea de frecvențe:

— un înalt grad de disponibilitate pentru întreaga instalație;
— costul redus al întreținerilor și reparațiilor;
— posibilitatea introducerii unor reglaje complexe pentru presiune, debite și cantități acumulate;
— posibilitatea menținerii funcționării pompei în zona regimurilor optime, evitarea șocurilor la pornire și a zgomotelor și vibrațiilor specifice regimurilor parțiale (create de închiderea robinetului).

Mod de reglare	Debitul [$m^3/h(m^2/s)$]	Puterea absorbită [kW]	Număr ore de funcționare [h/an]	Energia consumată [kWh/an]
1. Robinet pe refulare:				
— ziua	250(0607)	32	4 320	138 240
— noaptea	180(0,05)	29	4 320	125 280
				E_T = 263 520
2. Conectare—deconectare motor (n const. = 2900 min^{-1} (48,3 s^{-1})) (ziua = 10,9 ore; noaptea = 7,85 ore)				
— ziua	275(0,076)	32,5	3 924	127 530
— noaptea	275(0,076)	32,5	2 826	91 845
				E_T = 219 375
3. Motor poli comutabili (n = 1450 min^{-1}/960 min^{-1} (24,5 s^{-1}/960 s^{-1}))				
— ziua	250(0,07)	32	4 320	138 240
— noaptea	180(0,05)	12	4 320é	51 840
				E_T = 190 080
4. Convertizor de frecvență (n variabil 2900 — 150 min s^{-1} (48,3 — 0,04 s^{-1}))				
— ziua	250(0,07)	23	4 320	99 360
— noaptea	180(0,05)	9	4 320	38 880
				E_T = 138 240

* 1kWh = 3,6 kJ

* Material furnizat de ing. Lucian Radu — CCSIT pentru Pompe și Ventilatoare, București

Ierarhizarea şi dimensionarea obiectivelor de conservare a energiei

Dr. ing. Jean Constantinescu *

Descriptori: conservarea energiei

Introducere

În prezent a devenit evident faptul că în anumite sectoare ale economiei naţionale, dacă nu vor fi introduse noi tehnologii, consumul energetic va fi un obstacol absolut în dezvoltarea sau chiar menţinerea unor producţii de bunuri materiale. Necesitatea acestei acţiuni este stringentă pentru producţiile de export.

Pentru raţionalizarea eforturilor şi resurselor este important de cunoscut „răspunsul" criteriilor tehnice, economice, sociale, la diversele soluţii de conservare a energiei. Cu un model relativ simplu, în care intervin mărimi supuse sistematic aprofundării de către literatura de specialitate, în lucrare se analizează incidenţa soluţiei de conservare asupra a două criterii de bază de eficienţă : costurile de producţie şi energia totală integrată în produse.

Modelul poate fi aplicat, la nivelul unei faze tehnologice, produsului sau serviciului, ramurii economiei naţionale ; poate fi limitat la etapa fabricaţiei, ca în această lucrare, sau poate să cuprindă ciclul complet de viaţă al unui produs (fabricaţie, utilizare, distrugere).

1. Costul dotărilor şi consumul energetic

Dependenţa costului unui sistem consumator de energie de mărimea consumului energetic tehnologic (operaţional), pentru un volum dat de producţie sau servicii, constituie o relaţie de bază în analizele energo-economice

$$I = I(E). \tag{1}$$

Relaţia (1) poate fi identificată prin prelucrarea statistică a datelor experimentale sau de proiect. Pentru procesele simple ea poate fi determinată şi analitic.

În cazul general, funcţia „putere" reproduce mulţumitor rezultatele din practică şi se exprimă astfel :

$$I^{\alpha_i} \cdot E^{\alpha_e} = m_1 \tag{2}$$

sau

$$I = m \cdot E^{-C}, \quad C = \alpha_e \alpha_i ; \tag{3}$$

unde :

$$m = m_1^{1/\alpha_i}.$$

Parametrul C reprezintă elasticitatea costului investiţional al economiei de energie.

Într-adevăr, linearizînd ecuaţia (3) în jurul unui punct I_1, E_1, care defineşte, de exemplu, starea care precede o acţiune de modernizare, se obţine :

$$\Delta I/I_1 = - C . \Delta E/E_1. \tag{4}$$

2. Factorul de calitate al soluţiei de conservare a energiei

D.L. Phung şi W.van Gool [4] au determinat parametrul C pentru principalele cinci procese mari consumatoare de energie din S.U.A., stabilind următoarele valori medii : izolări — 1,4 ; evaporări — 1,4 ; distilări — 2,8 ; încălziri directe — 3,0 ; acţionări cu motoare electrice — 15,0.

Natura procesului tehnologic nu determină însă în mod singular acest parametru. La elaborarea sau modernizarea unei tehnologii există, de regulă, mai multe opţiuni, diversele soluţii de conservare a energiei conducînd la un domeniu mai mult sau mai puţin larg de valori pentru C. Această proprietate, exemplificată în tabelul 1, stă la baza denumirii parametrului C drept factor de calitate al soluţiei de conservare a energiei.

Fenomenul se „vizualizează" simplu exprimînd, de asemenea prin funcţii puteri, mărimile I şi E în raport cu o dimensiune caracteristică (d) a procesului (sau instalaţiei)

$$E = ad^{-\alpha}, \tag{5}$$

$$I = bd^{\beta}. \tag{6}$$

Punînd $C = \beta/\alpha$ şi $m = b/a^{-C}$, ecuaţiile (5) şi (6) sînt echivalente cu (3).

Dimensiunea caracteristică poate reprezenta o mărime fizică, de pildă temperatura, presiunea, tensiunea electrică, intensitatea sau densitatea de curent electric, rezistenţa termică sau electrică, diametrul conductei, grosimea stratului izolant etc. ; d poate exprima, de asemenea, un indicator convenţional asociat cu anumite însuşiri calitative sau de complexitate ale capacităţilor de producţie considerate : grad de mecanizare sau de automatizare, coeficient de termoficare, pondere a tehnologiilor neconvenţionale, „uscate", de turnare continuă etc.

* Dr. ing. Jean Constantinescu — Consiliul Naţional pentru Ştiinţă şi Tehnologie.

Tabelul 1

Sistemul consumator de energie	Dimensiunea caracteristică	α	β	C
Transport de energie electrică prin cablu subteran de medie tensiune (6—20 kV)	Tensiunea electrică Secţiunea conductoarelor	2,0 1,0	1,0 1,0	0,5 1,0
Producerea sticlei de ambalaj în cuptoare tip vană, cu $S_v = 8$ m^2	Temperatura aerului preîncălzit: — recuperativ (200—400°C) — regenerativ (600—1200°C) Nivelul de izolaţie termică a cuptorului	 0,1 0,145 —	 0,14 0,16 —	 1,4 1,1 1,5
Încălzirea metalelor pentru forjare în cuptoare tip cameră cu vatră mobilă (instalaţie de ardere de 25 m^3_N/h)	Temperatura aerului preîncălzit: — recuperativ (100—400°C) — regenerativ (500—1000°C)	 0,25 0,3	 1,2 0,6	 4,8 2,0
Producerea de blumuri, brame, sleburi din oţel	Ponderea laminatelor turnate continuu în producţia ramurii	0,267	0,206	0,77

În acţiunile de modernizare a tehnologiilor, parametrul C depinde de stadiul aplicării soluţiilor de conservare (creşte pe măsura epuizării soluţiilor cunoscute) şi de inovaţia tehnologică (schimbarea unei tehnologii îi provoacă variaţii în salt).

3. Criteriile de analiză tehnico-economică

Fără îndoială nu se dispune încă de o descriere sistemică unanim acceptată a relaţiei dintre dezvoltarea economico-socială, producţia materială şi consumul de energie. Acest fapt stă la originea carenţelor diverselor strategii energetice încercate azi în lume [1].

Pentru studii sectoriale, vizînd obiective cu sferă de cuprindere limitată, practica a consacrat unele modele şi criterii simple, care pot fi aplicate numai după o atentă examinare a rezultatelor.

Cele două criterii care se au în vedere reprezintă totalul energiei şi respectiv costurilor băneşti necesare pentru realizarea şi operarea sistemului consumator de energie pe durata de viaţă normată (N-ani).

$$E_T = E_0 + E_I + E_E, \tag{7}$$

$$C_t = C_0 + C_I + C_E. \tag{8}$$

La altă scară, criteriile pot fi interpretate drept costuri energetice şi băneşti pe unitatea de producţie fizică.

În ecuaţiile (7) şi (8) s-au marcat cu indicii 0, I şi E componentele constante (independente de energia operaţională şi costuri), asociate cu echipamentele şi respectiv cu consumul tehnologic de energie. Pentru simplificarea expunerii au fost neglijate componentele materiale şi de muncă (de remarcat faptul că, de regulă, între energie şi materia primă se stabilesc relaţii de forma (2)). Pierre le Goff [3] a denumit „antienergetice" componentele E_I şi C_I şi „proenergetice" componentele E_E şi C_E.

Energiile încorporate în echipament ($E_I = e_I \cdot I$) şi operaţionale ($E_E = NE/\eta_E$) se exprimă faţă de costul I al investiţiei şi de energia E consumată anual, folosindu-se indicatorul intensivităţii medii a bunurilor de echipament — e_I (tc.c./mii lei) şi respectiv randamentul mediu pentru transformarea energiei primare în energie utilizată în proces — η_E.

În mod similar se raportează costurile ($C_I = Z_I \cdot I$; $C_E = Z_E \cdot N \cdot p_0 \cdot E$) cu ajutorul coeficienţilor Z de „normalizare" sau de „actualizare" a cheltuielilor viitoare, ţinînd seama şi de scumpirea energiei în timp [4];

$$Z_I = C_a[1 - (1 + a)^{-N}]/a, \tag{9}$$

$$Z_E = \sum_{i}^{N} [(1 + y)/(1 + a)]^i/N, \tag{10}$$

în care :

C_a sînt cheltuielile anuale medii (fixe) de amortizare ;

a — rata de actualizare ;

y — rata medie de scumpire a combustibililor (p_0 este preţul marginal actual al combustibilului în mii lei/tc.c.).

4. Optimul energetic şi optimul costurilor

Reprezentate grafic, relaţiile (7) şi (8) au în general aspectul din figura 1. Punctele de minim, M' pentru energia totală şi M'' pentru costurile totale, sînt caracterizate de următoarele relaţii între mărimi :

$$E'/E'' = R^{\frac{1}{1+C}}, \tag{11}$$

$$E'_E/E'_I = C''_E/C''_I = C, \tag{12}$$

$$C'_E/C'_I = RC\,;\ E''_E/E''_I = C/R, \qquad (13)$$

$$k = (E'_I - E''_E)/(E''_E - E'_E) =$$

$$= \frac{1}{C}\,\frac{R^{\frac{1}{1+C}} - R}{1 - R^{\frac{1}{1+C}}}, \qquad (14)$$

$$\frac{C'_I - C''_I}{C''_E - C'_E} = \frac{k}{R}, \qquad (15)$$

$$R = e_I \cdot p_0 \cdot \eta_E \cdot Z_E/Z_I < 1. \qquad (16)$$

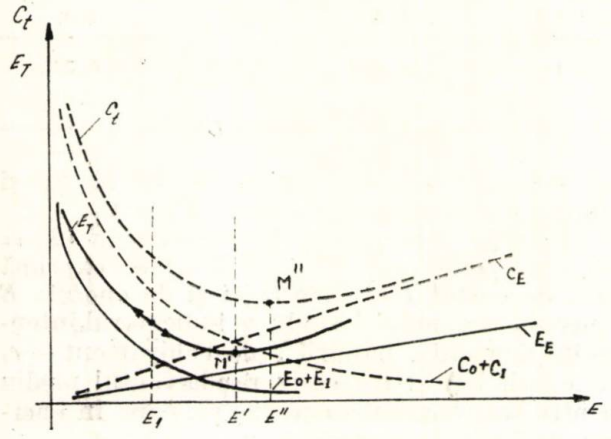


Fig. 1. Variația energiei și costurilor necesare pentru realizarea și operarea sistemului consumator de energie pe durata normată de viață: E_T, C_t — energia și respectiv costurile totale; E_E, C_E — energia operațională și costul acestei energii; E_I, C_I — energia încorporată în echipament și costul investiției.

Interpretări :

— Coeficientul R, definit de relația (16), este de regulă subunitar. De exemplu, adoptînd : $a = 0{,}08$; $p_0 = 2{,}0$; $y = 0{,}15$; $C_a = 0{,}16$; $N = 20$; $Z_E = 0{,}35$; $Z_I = 1{,}6$; $R \approx 0{,}03$ pentru fabricile de cărămizi și $R \approx 0{,}35$ pentru fabricile de ciment.

O valoare redusă a coeficientului R apare la niveluri reduse de dotare a sistemului consumator de energie, cînd se practică prețuri reduse ale combustibililor, iar amortizările sînt ridicate. Coeficientul R este rezultatul politicii generale economice.

— Consumul energetic tehnologic este cu atît mai mic în optimul energetic decît în optimul costurilor cu cît factorul de calitate al soluției de conservare a energiei C este mai mic (relația 11).

— Raportul dintre componentele pro energetice și antienergetice, la ambele optimuri, este direct determinat de parametrul C (relațiile 12 — 13).

— La optimul costurilor se obține o reducere de energie încorporată în echipament, în raport cu valoarea corespunzătoare optimului energetic, dar inferioară creșterii de energie operațională (relația 14, $k < 1$). Tendința se accentuează în cazul dotărilor slabe (e_I, și în consecință R, reduse) și al modernizărilor scumpe (C mare), așa cum se observă în figura 2.

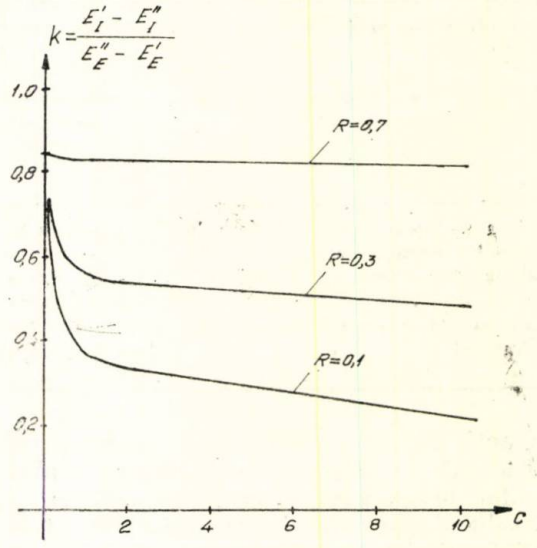


Fig. 2. Dependența raportului dintre creșterile (scăderile) energiei încorporate în echipament și scăderile (creșterile) energiei operaționale, de factorul general economic (R) și de factorul de calitate al soluției de conservare (C).

5. Principii de ierarhizare și dimensionare a acțiunilor de conservare a energiei

Pe baza relațiilor 11 ÷ 15 pot fi stabilite următoarele principii de ierarhizare și dimensionare ale obiectivelor de conservare a energiei în procesele consumatoare :

— Măsurile de economisire a energiei caracterizate de valori C reduse trebuie să aibă prioritate. În aceste situații, sub aspectul energiei totale consumate, optimizarea după costuri nu diferă esențial de optimizarea după criteriul energetic (relația 14). Ținînd seama însă de cheltuieli (relația 15), criteriul energetic ar trebui adoptat dacă R are valoare mare (apropiată de unitate) ; în restul cazurilor, este preferat criteriul costurilor.

— Aplicarea soluțiilor de conservare asociate cu valori C mari (> 5) apare justificată numai dacă și R este mare. În aceste situații, cele două criterii conduc la soluții care nu diferă semnificativ între ele, nici sub aspectul cheltuielilor, nici sub cel al energiei.

Alegerea criteriului de eficiență tehnico-economică poate fi influențată și de alte considerente. De exemplu, tehnologiile folosite la producerea de bunuri destinate pieții externe ar trebui modernizate pe baza criteriului energetic. Aceasta deoarece :

— energia reprezintă integral o poziție în balanța schimburilor externe în timp ce o parte din cheltuielile de producție conduce la acumulări interne (inclusiv prin

majorarea sursei potențiale de materiale recuperabile la scoaterea din uz a echipamentului);
- optimul energetic îmbunătățește condițiile de protecție a mediului, are efecte sociale pozitive și contribuie la asigurarea independenței energetice;
- optimul energetic favorizează reamenajarea structurilor industriale în sensul creșterii nivelului tehnic:
- optimul costurilor este afectat de incertitudinile privind evoluția prețurilor și ratelor de eficiență.

Concluzii

Eficiența soluțiilor de conservare a energiei este determinată, în principal, de doi factori, și anume:

a) *Factorul general economic* (R) reprezentat de nivelul prețurilor, ratelor de amortizare și de eficiență minimă, precum și de naturile sistemului consumator de energie și ale purtătorilor de energie folosiți.

b) *Factorul de calitate al soluției de conservare* (C), care exprimă sintetic nivelul atins în economisirea energiei în procesul tehnologic considerat și particularitățile tehnico-economice ale soluțiilor concrete de conservare avute în vedere.

Factorii R și C pot servi la ierarhizarea obiectivelor de economisire a energiei și la alegerea criteriului de dimensionare a acestor obiective.

Bibliografie

[1] Ursu, I., Vamanu, D. *Premise și strategii actuale ale priorităților în perspectiva unei noi calități a ordinii energetice.* În: Priorități în domeniul energiei, vol. 2, 1984, p. 7—49.

[2] Mihăileanu, C. *Conservarea energiei — obiectiv prioritar al politicii energetice actuale.* În: Priorități în domeniul energiei, vol. 2, 1984, p. 49—66.

[3] Le Goff, P. *Energetique Industrielle.* În: Technique et Documentation, Paris, vol. 2, 1980, cap. 3, 9, 10, 11, 12.

[4] Phung, D. L., van Gool, W. *Industrial Energy Conservation Policies: A unified Approach with Applications to the U.S. Energy Scene.* În: Proc. of the Symposium on Energy Conservation and International Cooperation, București, 24—26 martie (1981).

[5] Iancu, A. *Consumul energetic și structura producției.* Ed. Academiei, 1979.

[6] Bullard, C. ș.a. *Net Energy Analysis: Handbook for Combining Process and Input-Output Analysis.* Resource and Energy 1, pp. 267—315, North Holland Publishing Company (1978).

[7] * * * *Reducerea costurilor, a consumurilor specifice de materii prime, materiale, combustibili și energie, prin îmbunătățirea utilizării factorilor de producție în vederea creșterii eficienței economice în industrie și în investiții,* Institutul de Economie Industrială — Studii de Economie Industrială, nr. 65 (1986).

(Primit la 3 noiembrie 1987, acceptat la 3 ianuarie 1987)

Gradul optim de recuperare a căldurii gazelor de ardere evacuate din cuptoarele industriale*

Dr. ing. Constantin Neaga**

Descriptori: cuptoare industriale, recuperarea căldurii reziduale, optimizare

Gazele de ardere care ies din cuptoarele industriale (de forjă, de tratament, de topire etc.) au, de regulă, temperatura ridicată; căldura lor fizică (entalpia) este pierdută pentru instalația de cuptor, ceea ce determină scăderea randamentului și în consecință creșterea debitului de combustibil consumat. Aceasta determină creșterea prețului produsului final, în special prin componenta lui prețul combustibilului.

O cale de îmbunătățire a randamentului cuptorului constă în preîncălzirea aerului necesar arderii combustibilului în focarul cuptorului analizat, cu ajutorul gazelor de ardere evacuate. În aceste condiții, gazele care părăsesc instalația au temperatura mai coborîtă decît în cazul anterior, deci randamentul ansamblului crește și consumul de combustibil scade. Pentru aceasta, însă, trebuie inclus în circuitele cuptorului un preîncălzitor de aer, care are rolul de recuperator al căldurii reziduale a gazelor (fig. 1).

Utilizarea unui recuperator determină, față de varianta fără preîncălzitor considerată variantă de bază, o economie de combustibil, creșterea investițiilor (costul recuperatorului însuși) și cheltuieli cu consumul de energie electrică suplimentară pentru învingerea pierderilor de presiune pe traseul aerului și gazelor la curgerea lor peste și prin țevile recuperatorului. Analiza acestor consecințe relevă existența unui grad optim de recuperare a căldurii gazelor evacuate din cuptor.

Calculul gradului optim de recuperare se face folosind metoda variației cheltuielilor rapor-

* Autorul dedică acest articol aniversării a 35 de ani de apariție a revistei Energetica.

** Dr. ing. Constantin Neaga — Facultatea de Mecanică, Institutul Politehnic București.

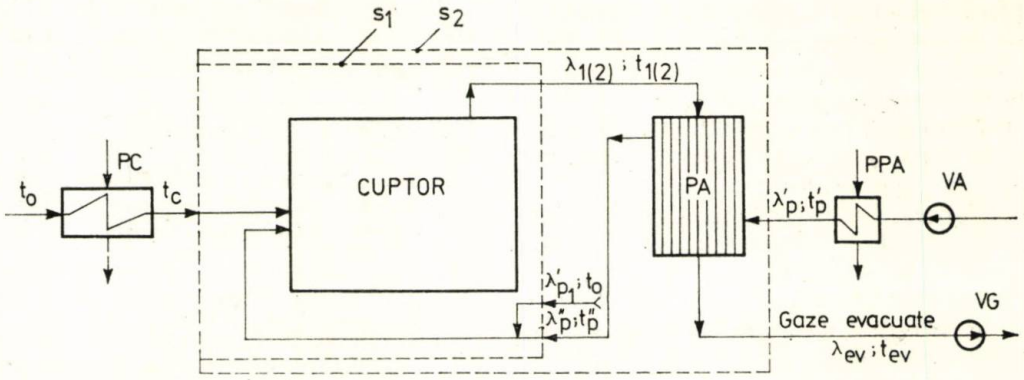


Fig. 1. Includerea preîncălzitorului de aer (recuperator) în circuitele unui cuptor industrial: PA — preîncălzitor de aer; PPA — preîncălzitor prealabil de aer (calorifer); VA — ventilator de aer; PC — preîncălzitor de combustibil; VG — ventilator de gaze de ardere evacuate; s_1, s_2 — suprafețe de referință.

tate pentru cuptorul fără și cu preîncălzitor de aer:

$$\Delta f(t_{ev}) = 3600\ \tau_{an} C_c \Delta B - (r_n + a_{PA}) I_{PA} - C_v N_v F_{PA},\ \text{lei/an}. \quad (1)$$

unde:

$\Delta B = B_1 - B$ este economia de combustibil, kg/s, m³/s*;

B_1, B — consumul de combustibil în varianta de bază, indice „1" (cuptorul fără recuperator) și, respectiv, debitul de combustibil în varianta „2" (cu preîncălzitor de aer), kg/s, m³/s;

C_c — costul combustibilului, lei/kg, lei/m³;

τ_{an} — timpul de funcționare a cuptorului, ore/an;

I_{PA} — investițiile cu preîncălzitorul de aer, lei;

r_n — coeficientul normat de recuperare a investițiilor, 1/an;

a_{PA} — cota de amortizare și cheltuieli suplimentare ale preîncălzitorului de aer, 1/an;

F_{PA} — suprafața preîncălzitorului de aer, m²;

N_v — puterea instalată a electromotoarelor ventilatoarelor (sau puterea suplimentară), kW/m²;

C_v — cheltuieli specifice ale tirajului, lei/(kW·an).

1. Instalația de cuptor fără preîncălzitor de aer

Randamentul cuptorului prin metoda indirectă se calculează cu expresia:

$$\eta_1 = 100 - (q_{ev_1} + q_{ch} + q_m + q_{ex} + q_{rf}), \%, \quad (2)$$

unde:

q_{ev_1}, q_{ch}, q_m, q_{ex} q_{rf} sînt pierderi procentuale de căldură cu gazele de ardere evacuate, prin ardere incompletă chimic, prin ardere incompletă mecanic, în exterior (prin pereți) și cu reziduurile solide din focar, %.

Pierderea de căldură cu gazele evacuate are expresia:

$$Q_{ev_1} = (1 - 0{,}01 q_m)[I_g(\lambda_1 t_1) - \lambda_1 I^0_{aum}(t_0)] - i_{co}[\text{kJ/kg, kJ/m}^3], \quad (3)$$

unde:

$I_g(\lambda_1, t_1)$ este entalpia gazelor de ardere care ies din cuptor, kJ/kg, kJ/m³;

λ_1, t_1 — coeficientul de exces de aer și temperatura gazelor, °C;

$I_{aum}(t_0)$ — entalpia aerului umed teoretic, kJ/kg, kJ/m³;

t_0 — temperatura mediului ambiant, °C;

i_{co} — entalpia specifică a combustibilului la temperatura mediului ambiant, kJ/kg, kJ/m³;

$i_{co} = c_c t_0$, unde c_c este căldura specifică a combustibilului, kJ/(kg.K), kJ/(m³.K).

Pierderea procentuală de căldură cu gazele evacuate se calculează cu formula $q_{ev} = 100\, Q_{ev_1} / Q_i^i$, unde Q_i^i este puterea calorifică inferioară a combustibilului, kJ/kg, kJ/m³.

Entalpia gazelor de ardere la ieșirea din cuptor rezultă din ecuația de bilanț termic:

$$I_g(\lambda_1, t_1) = I_g(\lambda_1, t_{t_1}) - Q_u / B_{ef_1} - Q_{ex}/(1 - 0{,}01 q_m), \quad (4)$$

unde:

$I_g(\lambda_1, t_{t_1})$ este entalpia teoretică a gazelor de ardere, kJ/kg, kJ/m³;

t_{t_1} — temperatura teoretică, °C;

Q_u — căldura utilă schimbată în cuptor, kW;

* În lucrare s-a folosit m³ în condiții normale de temperatură și presiune.

B_{ef_1} — debitul efectiv de combustibil, kg/s, m³/s; $B_{ef_1} = (1 - 0{,}01q_m)\, B_1$, unde B_1 este debitul de combustibil introdus în cuptor, kg/s, m³/s;

$Q_{ex} = 0{,}01 q_{ex} Q_i^i$.

Din relaţia bilanţului termic al cuptorului, scris în ipoteza absenţei schimbului util de căldură, se obţine entalpia teoretică a gazelor (suprafaţa de referinţă s_1)

$$B_1(Q_i^i + \Delta i_c + i_{co}) + B_{ef_1}(\lambda'_{p_1} + \Delta\lambda) I^0_{aum}(t_0) + + B_1 W_f (i_f - 2510) = B_{ef_1} I_g(\lambda_1, t_{t_1}) + + B_1(Q_{ch} + Q_m + Q_{rf}), \quad (5)$$

unde :

Δi_c este surplusul de entalpie specific al combustibilului peste entalpia la temperatura mediului ambiant, kJ/m³, kJ/kg;

$\Delta i_c = c_c \times (t_c - t_0)$, unde t_c este temperatura cu care combustibilul pătrunde în focar, °C (pentru a putea fi pulverizată păcura se preîncălzeşte în PC cu o sursă de căldură externă cuptorului, sau combustibilul gazos — gaz de furnal, gaz de gazogen — are la intrarea în focar o temperatură mai mare decît a mediului ambiant);

$\Delta\lambda$ — infiltraţia de aer fals în cuptor (dacă arderea este cu depresiune);

W_f — consumul specific de abur din necesităţi funcţionale, kg/kg (pulverizarea păcurii cu abur);

i_f — entalpia aburului de pulverizare, kJ/kg.

În relaţia (5) singura necunoscută este $I_g(\lambda_1, t_{t_1})$. Folosind diagrama specială $I_g = f(\lambda, t)$, sau tabelul întocmit în acest scop, se găseşte temperatura teoretică de ardere în cuptor (adiabată) t_{t_1}.

Consumul de combustibil al instalaţiei de cuptor fără recuperator :

$$B_1 = \frac{Q_u}{0{,}01\eta_1 Q_i^i + \Delta i_c + W_f(i_f - 2510)} = = \frac{a}{\eta_1 + a_1}, \text{ kg/s, m}^3\text{/s}, \quad (6)$$

unde :

$a = 100\ Q_u/Q_i^i$;

$a_1 = 100[\Delta i_c + W_f(i_f - 2510)]/Q_i^i$.

În analiza care urmează B_1 este constant (varianta de bază).

2. Instalaţia de cuptor echipată cu preîncălzitor de aer

În acest caz relaţiile de calcul precedente devin (suprafaţa de referinţă în scrierea relaţiilor de bilanţ termic este s_2) :

$$\eta = 100 - (q_{ev} + q_{ch} + q_m + q_{ex} + q_{exr} + + q_{rf}), \ \% \quad (7)$$

unde :

q_{exr} este pierderea procentuală de căldură în exterior prin pereţii recuperatorului, %.

$$Q_{ev} = (1 - 0{,}01 q_m)[I_g(\lambda_{ev}, t_{ev}) - \lambda_{ev} I^0_{aum}(t_0)] - - i_{co}, \quad (8)$$

unde :

λ_{ev} şi t_{ev} sînt coeficientul de exces de aer al gazelor la evacuare şi temperatura gazelor evacuate, °C.

Bilanţul material al aerului conduce la următoarele expresii ale coeficienţilor de exces de aer pentru cele două variante :

$$\lambda_1 = \text{const.}; \ \Delta\lambda = \text{const.}; \ \lambda_{p_1} = \lambda''_p; \ \lambda_{ev} - - \lambda_1 = \lambda'_p - \lambda''_p. \quad (9)$$

$$q_{ev} = 100\ Q_{ev}/Q_i^i, \ \%. \quad (10)$$

Entalpia gazelor la ieşirea din cuptor

$$I_g(\lambda_2, t_2) = I_g(\lambda_2, t_{t_2}) - Q_u/B_{ef} - - Q_{ex}/(1 - 0{,}01 q_m), \quad (11)$$

unde $\lambda_1 = \lambda_2$ şi entalpia teoretică a gazelor de ardere se calculează din relaţia :

$$B(Q_i^i + \Delta i_c + i_{co}) + B_{ef}\lambda''_p I^0_{aum}(t''_p) + + B_{ef}\Delta\lambda I^0_{aum}(t_0) + B W_f(i_f - 2510) = = B_{ef} I_g(\lambda_2, t_{t_2}) + B(Q_{ch} + Q_m + Q_{rf}), \quad (12)$$

unde :

λ''_p este coeficientul de exces al aerului preîncălzit;

t''_p — temperatura aerului la ieşirea din preîncălzitor, °C.

Deoarece aerul de ardere se introduce în focarul cuptorului preîncălzit, rezultă $t_{t_2} > t_{t_1}$. Ţinînd seama de schimburile de căldură care au loc în interiorul instalaţiei de cuptor cu preîncălzitor se demonstrează că $t_2 = t_1 = \text{const.}$

$$B = Q_u/[0{,}01\ \eta Q_i^i + \Delta i_c + W_f(i_f - 2510) + + (1 - 0{,}01\, q_m)\lambda'_p \Delta I^0_{aum}] = \frac{a}{\eta + a_2}, \quad (13)$$

unde $\Delta I^0_{aum} = I^0_{aum}(t'_p) - I^0_{aum}(t_0)$ este preîncălzirea prealabilă a aerului cu o sursă de căldură exterioară cuptorului, care se face în scopul prevenirii coroziunii acide a preîncălzitorului de aer cînd instalaţia de cuptor foloseşte combustibil cu sulf în compoziţia lui chimică; are loc în preîncălzitorul prealabil de aer PPA (calorifer); $a_2 = a_1 + (100 - q_m)\lambda'_p \Delta I^0_{aum}/Q^i_i$.

Dar investiţia în preîncălzitorul de aer este proporţională cu suprafaţa acestuia, adică:

$$I_{PA} = a_s F_{PA}, \tag{14}$$

unde a_s este preţul specific al suprafeţei, inclusiv montajul, lei/m². Cu acestea relaţia (1) devine:

$$\Delta f(t_{ev}) = 3600\, \tau_{an} C_c (B_1 - B) - \\ - [(r_n + a_{PA})a_s + C_v N_i] F_{PA}, \tag{15}$$

unde suprafaţa preîncălzitorului de aer se calculează cu relaţia:

$$F_{PA} = B_{ef} Q_{PA}/(\psi k_{PA} \Delta t_m),\ \text{m}^2; \tag{16}$$

căldura schimbată în preîncălzitor rezultă din expresia:

$$Q_{PA} = \lambda''_p I^0_{aum}(t''_p) - \lambda'_p I^0_{aum}(t'_p) + \Delta\lambda_{PA} I^0_{aum}(t_p), \tag{17}$$

unde:

t_p = $0{,}5(t'_p + t''_p)$;
$\Delta\lambda_{PA}$ = 0, pentru simplificare se consideră scăpările de aer în recuperator nule, ceea ce duce la egalităţile $\lambda'_p = \lambda''_p$; $\lambda_{ev} = \lambda_2$;
k_{PA} — coeficientul global de schimb de căldură în preîncălzitor, kW/(m² · K);
Δt_m — diferenţa medie de temperatură, K;
ψ — ţine seama de curgerea încrucişată a agenţilor termici la calculul diferenţei medii de temperatură.

Pentru simplificarea relaţiilor se va folosi diferenţa de temperatură medie aritmetică:

$$\Delta t_m = 0{,}5(t_{ev} - t'_p + t_2 - t''_p). \tag{18}$$

Bilanţul termic al preîncălzitorului de aer duce la egalitatea:

$$C_g(t_2 - t_{ev}) = C_a(t''_p - t'_p), \tag{19}$$

unde:

$C_g = c_g V_g(\lambda)$ este echivalentul în apă al gazelor de ardere, kJ/(kg · K), kJ/(m³ · K);
c_g — căldura specifică medie a gazelor de ardere, kJ/(m³ · K);
$V_g(\lambda)$ — volumul gazelor de ardere, m³/kg, m³/m³;
$C_a = c_{aum} V_{aum}(\lambda)$ — echivalentul în apă al aerului de ardere, kJ/(kg · K), kJ/(m³ · K).

Introducînd t''_p din (19) în (18), rezultă:

$$\Delta t_m = 0{,}5[(1 + C_g/C_a)t_{ev} + \\ + (1 - C_g/C_a)t_2] - t'_p. \tag{20}$$

În calculul gradului optim de recuperare a căldurii gazelor evacuate din cuptor se admite variabilă independentă temperatura gazelor care părăsesc preîncălzitorul de aer, t_{ev}; de aceea funcţiile care intervin în (15) trebuie exprimate în raport cu t_{ev}.

Din (13) se obţine dependenţa debitului de combustibil

$$B = Q_u/(b_2 - C_{gev} t_{ev}), \tag{21}$$

unde

$$\left.\begin{aligned} b_2 &= Q^i_i + \Delta i_c + i_{co} - (Q_{ch} + Q_m + Q_{ex} + \\ &+ Q_{exr} + Q_{rf}) + (1 - 0{,}01 q_m)[\lambda'_p I^0_{aum}(t'_p) + \\ &+ \Delta\lambda I^0_{aum}(t_0)] + W_f(i_f - 2510); \\ C_{gev} &= (1 - 0{,}01 q_m) c_g V_g(\lambda_{ev}). \end{aligned}\right\} \tag{22}$$

Cu acestea (15) devine

$$\Delta f(t_{ev}) = 3600\, \tau_{an} C_c \left(B_1 - \frac{Q_u}{b_2 - C_{gev} t_{ev}}\right) - \\ - \frac{b}{b_2 - C_{gev} t_{ev}} \times \frac{t_2 - t_{ev}}{0{,}5(m t_{ev} + n t_2) - t'_p}, \tag{23}$$

unde:

$$\left.\begin{aligned} b &= (1 - 0{,}01 q_m) Q_u C_g [(r_n + a_{pa}) a_s + \\ &+ C_v N_v]/(\psi k_{pa}); \\ m &= 1 + C_g/C_a; \\ n &= 1 - C_g/C_a. \end{aligned}\right\} \tag{24}$$

Din anularea derivatei funcţiei (23) în raport cu t_{ev} se obţine temperatura optimă a gazelor evacuate care determină valoarea maximă a economiei cheltuielilor raportate. Condiţia de maxim:

$$\partial \Delta f/\partial t_{ev} = 0,\ \partial^2 \Delta f/\partial t^2_{ev} < 0. \tag{25}$$

În continuare, dezvoltarea se face pentru un exemplu numeric.

Un cuptor industrial avînd puterea $Q_u = 22060$ kW consumă gaz natural cu compoziţia $CH_4 = 84\%$; $C_2H_2 = 4{,}4\%$; $C_2H_4 = 5{,}8\%$; $H_2 = 1{,}8\%$; $O_2 = 2{,}4\%$; $N_2 = 1{,}6\%$ şi d = 30 g/m³ cgu. Cuptorul este fără şi cu preîncălzitor de aer recuperator. Se cere temperatura optimă de evacuare a gazelor în cazul echipării cuptorului cu recuperator.

Pe baza compoziției se calculează puterea calorifică inferioară a combustibilului anhidru $Q_i^{anh} = 36246$ kJ/m³, volumele de aer și de gaze de ardere V^0_{aum}=9,43 m³/m³; V^0_{gu}=8,391 m³/m³; $V^0_{H_2O} = 2{,}045$ m³/m³. Cu acestea se calculează valorile $I - t$ (entalpie — temperatură) (tabelul 1).

Tabelul I

Valori $I - t$ pentru gaz natural

t [°C]	$I_g(\lambda, t) - I^0_g(t) + (\lambda - 1) I^0_{aum}(t)$				
	$\lambda = 1$	$\lambda = 1{,}2$	$\lambda = 1{,}3$	$\lambda = 1{,}4$	$\lambda = 1{,}5$
	0	0	0	0	0
100	1437	1687	1812	1937	2062
200	2906	3408	3659	3910	4162
400	5955	6977	7488	7999	8510
600	9168	10733	11516	12298	13081
800	12544	14674	15738	16803	17868
1000	16094	18760	20116	21471	22827
1200	19667	22974	24627	26281	27934
1400	23374	27290	29248	31206	33164
1600	27152	31684	33950	36216	38482
1800	30990	36143	38719	41295	43872
2000	34872	40654	43545	46436	49327

Se admit pierderile $q_{ch} = 0{,}5\%$ (Q_{ch} = =181 kJ/m³); q_{ex}=6%(Q_{ex}=2175 kJ/m³); q_{exr}= = 0,5% (Q_{exr} = 181 kJ/m³). Combustibilul este introdus în focar la temperatura mediului ambiant, $i_{co} = 32$ kJ/m³; $\Delta i_c = 0$. În prima variantă (cuptorul fără preîncălzitor) cu relația (5) se găsește $I_g(\lambda_1, t_{t_1}) = 36534$ kJ/m³. Pentru $\lambda_1 = 1{,}4$ din tabelul 1 se calculează temperatura teoretică $t_{t_1} = 1612$ °C. Gazele de ardere părăsesc cuptorul cu temperatura $t_1 = 600$°C; din tabel $I_g(\lambda_1, t_1) = 12298$ kJ/m³$_N$. Cu relația (3) se găsește $Q_{cv_1} = 11829$ kJ/m³ și $q_{cv_1} = 32{,}64\%$, apoi randamentul cuptorului $\eta_1 = 60{,}86\%$. Consumul de combustibil se deduce cu relația (6), $B_1 = 1$ m³/s.

În varianta a doua, cuptorul se echipează cu preîncălzitor de aer. Cu relația (22) se calculează $b_2 = 34178$ kJ/m³; $C_{gev} = 19{,}5$ kJ/(m³ · K); $t'_p = t_0 = 25$°C; $C_a = 15$ kJ/(m³ · K); $C_g = = 20$ kJ/(m³ · K); se admit $\psi = 0{,}95$; $k_{PA} = = 15 \cdot 10^{-3}$ kW/(m² · K); $r_n + a_{PA} = 0{,}3$ ani^{-1}; $a_s = 2000$ lei/m²; $C_v N_v = 200$ lei/(m² · an); $\tau_{an} = 6000$ ore/an; C_c =1 leu/m³. Cu (24) se calculează $b = 24{,}77 \cdot 10^9$; $m = 2{,}333$; $n = = -0{,}333$. Variația cheltuielilor raportate (23) devine:

$$\Delta f(t_{ev}) = 21{,}6 \cdot 10^6 \left(1 - \frac{1153}{1753 - t_{ev}}\right) - \frac{1{,}27 \cdot 10^9}{1753 - t_{ev}} \frac{600 - t_{ev}}{1{,}17 t_{ev} - 125},$$

iar derivata în raport cu t conduce la ecuația de gradul doi

$$t^2_{ev} - 154{,}6\ t_{ev} - 27865 = 0,$$

a cărei soluție $(t_{ev})_{opt} = 261{,}3$°C.

Cu relația (21) se găsește debitul de combustibil $B = 0{,}758$ m³/s; deci folosirea preîncălzitorului recuperator duce la o economie relativă de combustibil de $\Delta B = 24{,}2\%$. Din (19) rezultă temperatura de preîncălzire a aerului t''_p = = 476,6°C. Din (12) rezultă $I_g(\lambda_2, t_{t_2}) = 43518$ și $t_{t_2} = 1886$°C.

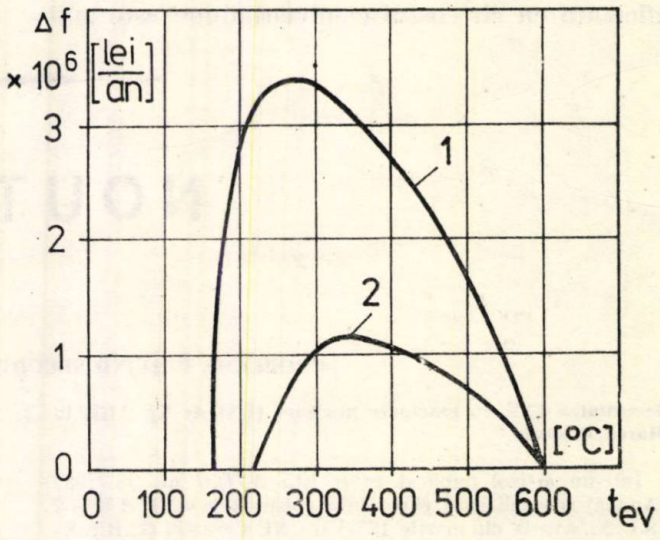


Fig. 2. Dependența variației cheltuielilor raportate de temperatura gazelor evacuate pentru diverse valori ale prețului combustibilului: 1 — C_c=1 lei/m³; 2 — C_c=0,50 lei/m³.

În figura 2 s-a prezentat variația diferenței cheltuielilor de calcul $\Delta f(t_{ev}) = f(t_1) - f(t_{ev})$ cu temperatura de evacuare (după preîncălzitor) a gazelor de ardere. Curba 1 se referă la cazul în care costul combustibilului se admite 1 leu/m³; $(t_{ev})_{opt} = 261{,}3$°C și $\Delta f_{max} = 3{,}306 \cdot$ $\cdot 10$ lei/an; curba 2 s-a calculat pentru C_c = = 0,50 lei/m³; $(t_{ev})_{opt} = 342$°C și $\Delta f_{max} = 1{,}13 \cdot$ $\cdot 10^6$ lei/an. Rezultă că recuperarea căldurii reziduale a gazelor de ardere evacuate este cu atît mai eficientă cu cît prețul combustibilului este mai mare.

Din alt punct de vedere, ținînd seama de creșterea costului combustibilului datorită conjuncturii economice actuale, problema recuperării căldurii gazelor evacuate din diverse cuptoare industriale este cu atît mai stringentă.

Se definește gradul de recuperare a căldurii reziduale prin raportul:

$$q_r = [I_g(\lambda_2, t_2) - I_g(\lambda_{ev}, t_{ev})]/[I_g(\lambda_2, t_2) - I_g(\lambda_2, t_0)], \quad (26)$$

unde $I_g(\lambda_2, t_0)$ este entalpia gazelor de ardere care ies din cuptor (acesta fiind echipat cu recuperator) la temperatura mediului ambiant, kJ/kg, kJ/m³. Pentru cazul 1 analizat (C_c = =1 leu/m³), gradul optim de recuperare q_{ropt} = = 0,604.

Concluzii

Lucrarea a prezentat o metodă tehnică și economică de optimizare a gradului de recuperare a căldurii reziduale a gazelor evacuate dintr-o instalație termică industrială. În urma analizei expresiei variației cheltuielilor de calcul rezultă că recuperarea căldurii este cu atît mai eficientă cu cît costul combustibilului este mai mare. De asemenea, expresia permite analiza influenței și a altor factori, cum ar fi temperatura inițială a gazelor de ardere, costul metalului preîncălzitorului, coeficientul global de transfer de căldură etc. asupra diferenței cheltuielilor de calcul și, în consecință, optimizarea din diferite considerente a gradului de recuperare a căldurii reziduale.

Din exemplul analizat rezultă că numai recuperarea tehnologică (primară) a căldurii nu este întotdeauna suficientă și de aceea trebuie precedată sau urmată și de o recuperare energetică (secundară), situație în care optimizarea tehnico-economică devine imperios necesară.

Bibliografie

[1] Andriușcenko. A. ș.a. *Optimizația teplovth fiklov i professov TES*. Moskva, Visșaia școla, 1974.

[2] Vasiliev, I.u. A. ș.a. *Optimizația rekuperativnogo ispolzovania teploti othodiașcih gazov promișlennih pecei*. În: Izv. vuzov SSSR — Energhetika, 2/1986, p. 77—83.

[3] Neaga, C. C., Epure, Al. *Calculul termic al generatoarelor de abur*. Editura tehnică, București, 1987.

(Primit la 23 noiembrie 1987, acceptat la 4 ianuarie 1988)

NOUTĂȚI

Din energetica mondială

PROBLEME PRIVIND SECURITATEA CNE ÎN LUME

Securitatea CNE cu reactoare nucleare (RN) de tip AGR în Marea Britanie

Într-un articol publicat în revista *ATOM* nr. 367/1987 (Anglia) se analizează experiența obținută la CNE TMI—2 (S.U.A., avaria din martie 1979) și CNE Cernobîl (U.R.S.S., aprilie 1986), cu distrugerea protecției de avarie a reactoarelor nucleare și cu degajarea de substanțe radioactive în mediul înconjurător și se discută posibilitatea unor astfel de avarii la CNE cu reactoare nucleare de tip AGR. În articol se analizează gradul de securitate al sistemelor de protecție la AGR. Este descrisă dinamica proceselor tranzitorii în situații importante de avarie ca: întreruperea circulației agentului de răcire, dezetanșeizarea și lipsa răcirii în circuitul primar la acționarea sistemelor active de protecție de securitate, în cazul ieșirii din funcțiune a acestor sisteme. Sînt descrise pupitrul de comandă al reactoarelor nucleare tip AGR și simulatoarele pentru situații de avarie la CNE Hinkley Point B, Dungeness B și Heysham 2.

(După „Referativnii Jurnal" 22, Energhetika, vol. general, nr. 11/1987, poziția 11.U 256)

Securitatea CNE în India

În articolul *Nuclear power good safety, viability record* semnat de Srinivasan, publicat în revista *Nuclear India* nr. 25/1987, se face o trecere în revistă a problemelor securității, economicității și influenței CNE asupra mediului ambiant al Indiei, cu luarea în considerare a consecințelor gravelor avarii din ultimii doi ani de la CNE TMI—2 (S.U.A.) și Cernobîl (U.R.S.S.).

În prezent, puterea instalată în sistemul electroenergetic al Indiei este de circa 47 MW, ponderea CNE fiind de ordinul a 3% din producția totală de energie electrică. În anul 2000 puterea totală a CNE în India va atinge 100—120 GW.

Strategia de dezvoltare a energiei nucleare în India se bazează pe utilizarea reactoarelor nucleare de tip PHWR cu atragerea ulterioară a LMFBR. În articol sînt analizate cauzele unor avarii potențiale cu topirea protecției de avarie a reactoarelor nucleare, a anvelopelor de protecție și cu emanații radioactive posibile în mediul ambiant. În articol se analizează măsurile de micșorare a riscului unor astfel de avarii.

(După „Referativnii Jurnal" 22, Energhetika, vol. general nr. 11/1987 poz. 11 U 263)

ing. Mihai Nistor—ISPE

* * *

În ziua de 19 februarie 1988 s-a desfășurat la Suceava o masă rotundă cu tema „Calitatea proiectării și execuției microhidrocentralelor (MHC) și a centralelor hidroelectrice de mică putere (CHEP) din județul Suceava."

O cronică detaliată a acestei întruniri apare în Energetica supliment nr. 2/1988.

Amplificator hidraulic de urmărire

Ing. Ion Nicolau *

Introducere

În ansamblul amplificatoarelor hidraulice, cele de urmărire la care dezvoltarea forţei necesară deplasării se face printr-un motor linear cu piston diferenţial, se disting prin următoarele particularităţi : caracteristică statică lineară (lipsită de histerezis), viteză de răspuns bună, greutate şi gabarit mijlocii, fiabilitate bună, cost moderat. Aceste caracteristici au facilitat utilizarea lor pe scară largă în structura sistemelor hidraulice staţionare, o aplicaţie tipică fiind regulatorul de turaţie hidraulic al turbinelor cu abur.

Lucrarea de faţă prezintă studiul amplificatorului hidraulic de urmărire care echipează regulatorul de turaţie fabricat în ţară pentru turbina cu abur de 50 MW tip DSL 50.

1. Construcţia amplificatorului

Sistemul hidraulic de reglare a turaţiei de la turbina cu abur de 50 MW are în componenţa sa un amplificator hidraulic de urmărire, care primind la intrare cursa traductorului de turaţie, transformă la ieşire cursa amplificată în două debite proporţionale de ulei, care sînt prelucrate în continuare de sistem.

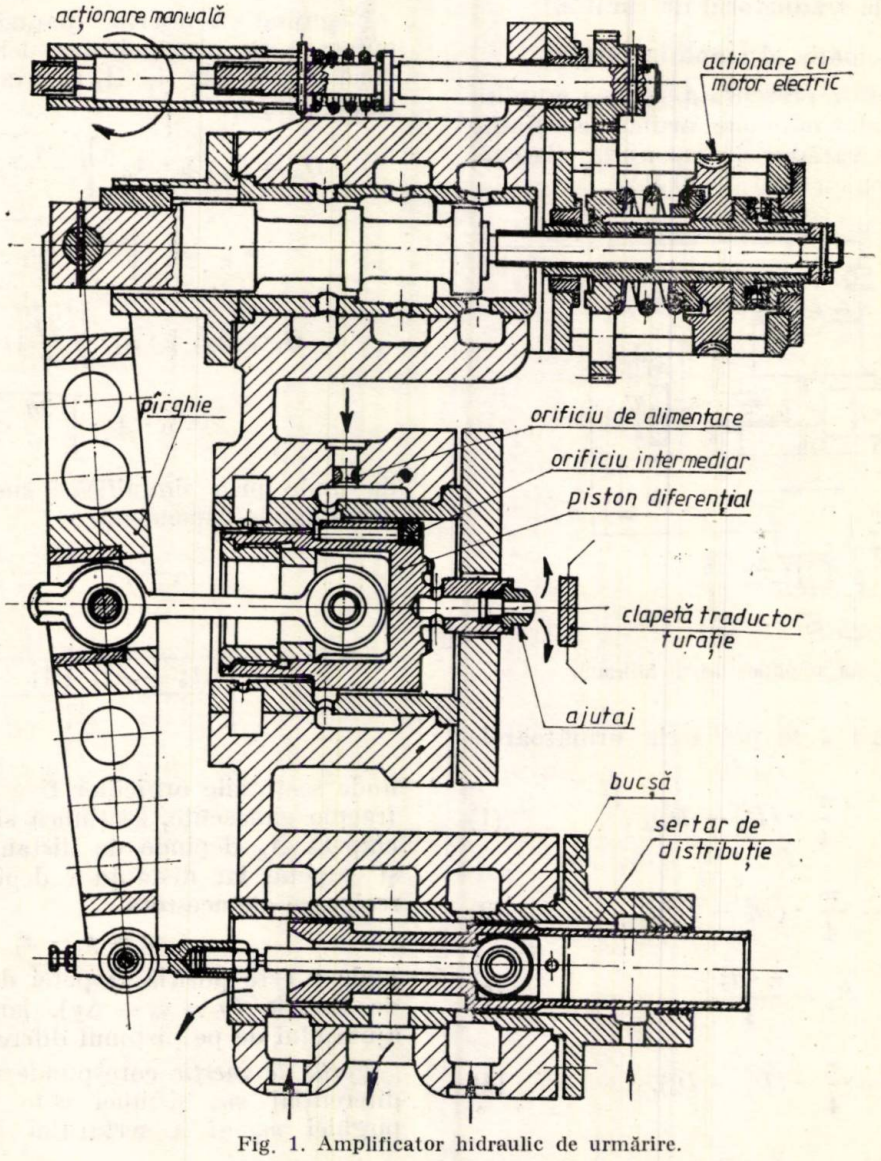


Fig. 1. Amplificator hidraulic de urmărire.

* Ing. Ion Nicolau — Institutul de Cercetare Ştiinţifică şi Inginerie Tehnologică pentru Echipamente Energetice, Bucureşti.

Construcția arătată în figura 1 poate fi caracterizată astfel: motor linear cu piston diferențial, sistem de comandă de tip ajutaj-clapetă, pîrghie cu brațe egale, sertar distribuitor cu două muchii de distribuție independente și cilindru hidraulic care anulează jocurile pîrghiei. Amplificatorul este dotat cu un pulsator care introduce o cursă de mică amplitudine pentru reducerea coeficientului de frecare, de la frecarea mecanică la frecarea vîscoasă.

Amplificatorul prezintă două orificii de secțiune constantă și un orificiu de secțiune variabilă. Secțiunea orificiului variabil este modificată de clapeta traductorului de turație, prin deplasarea acesteia față de ajutaj. Față de sistemul clasic care conține un singur orificiu de secțiune constantă, amplificatorul analizat, cu două orificii de secțiune constantă, prezintă presiuni de lucru mai reduse, stabilitate mai bună, un consum mai mic de ulei și forțe mai mici transmise la traductorul de turație.

2. Modelul matematic al amplificatorului

În figura 2 este reprezentată schema amplificatorului hidraulic cu două orificii constante și un al treilea variabil de tip ajutaj-clapetă, utilizat la turbina cu abur de 50 MW.

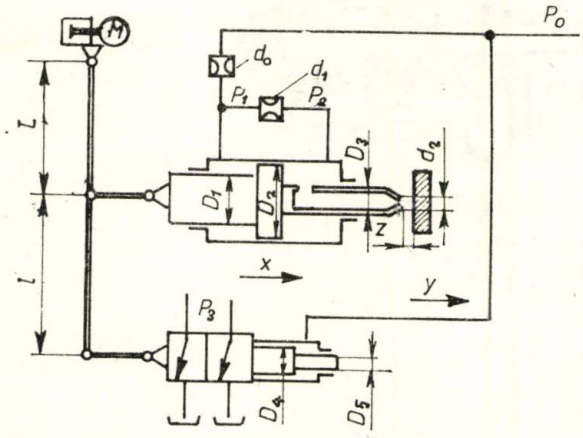


Fig. 2. Schema amplificatorului hidraulic.

Pe baza figurii 2 se pot scrie următoarele relații:

$$S_1 = \frac{\pi}{4} \cdot (D_2^2 - D_1^2), \tag{1}$$

$$S_2 = \frac{\pi}{4} \cdot (D_2^2 - D_3^2), \tag{2}$$

$$S_3 = \frac{\pi \cdot d_2^2}{4}, \tag{3}$$

$$S_4 = \frac{\pi}{4} \cdot (D_4^2 - D_5^2), \tag{4}$$

$$A_0 = \frac{\pi \cdot d_0^2}{4}, \tag{5}$$

$$A_1 = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4}, \tag{6}$$

$$A_2 = \pi \cdot d_2 \cdot z. \tag{7}$$

Ecuația de mișcare a echipajului mobil are forma:

$$F_1 - F_2 - F_3 - F_4 = F_5, \tag{8}$$

în care:

F_1 este forța de comandă hidraulică;
F_2 — forța de inerție a echipajului mobil;
F_3 — forța de frecare vîscoasă;
F_4 — forța hidrodinamică rezistentă a sertarului distribuitor;
F_5 — forța motrică a pistonului diferențial.

Forța de comandă hidraulică depinde de valoarea presiunilor p_0, p_1, p_2, precum și de secțiunile $S_1 - S_4$ pe care acționează:

$$F_1 = p_1 S_1 - p_2(S_2 + S_3) - 2 \cdot p_0 \cdot S_4. \tag{9}$$

Neglijînd scurgerile parazite prin jocuri, putem scrie continuitatea debitului prin cele două orificii fixe A_0, A_1 și prin sistemul ajutaj-clapetă A_2:

$$Q_0 = Q_1;\ \mu \cdot A_0 \cdot \sqrt{\frac{2g}{\gamma}(p_0 - p_1)} = \mu \cdot A_1 \cdot \sqrt{\frac{2g}{\gamma} \cdot (p_1 - p_2)}, \tag{10}$$

$$Q_1 = Q_2;\ \mu \cdot A_1 \cdot \sqrt{\frac{2g}{\gamma}(p_1 - p_2)} = \mu \cdot A_2 \cdot \sqrt{\frac{2g}{\gamma} \cdot p_2} \tag{11}$$

de unde prin simplificări succesive se obțin următoarele dependențe:

$$p_1 = p_2 \cdot \frac{A_1^2 + A_2^2}{A_1^2}, \tag{12}$$

$$p_2 = p_0 \cdot \frac{A_0^2}{\left[\frac{(A_0^2 + A_1^2) \cdot (A_1^2 + A_2^2)}{A_1^2} - A_1^2\right]} \tag{13}$$

unde secțiunile orificiilor fixe A_0, A_1 sînt diafragme cunoscute, secțiunea sistemului ajutaj-clapetă A_2 depinde de distanța dintre ajutaj și clapetă, iar distanța z depinde de pozițiile reciproce ale acestora:

$$z = y - x, \tag{14}$$

unde y este poziția clapetei de la traductorul de turație ($y = y_0 + \Delta y$), iar x este poziția ajutajului de pe pistonul diferențial.

Forța de inerție corespunde masei pistonului diferențial m_1, și unei cote părți din masa pîrghiei m_2 și a sertarului distribuitor m_3:

$$F_2 = m \cdot \frac{d^2x}{dt^2}, \tag{15}$$

unde masa echipajului mobil este :

$$m = m_1 + 0{,}7\ m_2 + 2 \cdot m_3, \qquad (16)$$

iar masele individuale sînt :

$$m_1 = G_1/g\ ;\ m_2 = G_2/g\ ;\ m_3 = G_3/g.$$

Forța de frecare vîscoasă corespunde jocului foarte redus dintre pistonul diferențial și cilindrul său, precum și dintre sertarul distribuitor și bucșa sa, raportate la axa pistonului diferențial :

$$F_3 = (f_1 + 2f_2) \cdot \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} \qquad (17)$$

unde :

$$f_1 = 8\frac{\pi \cdot D_2 \cdot l_2 \cdot \eta}{\varepsilon_2}, \qquad (18)$$

$$f_2 = 8\frac{\pi \cdot D_4 \cdot l_4 \cdot \eta}{\varepsilon_4}, \qquad (19)$$

în care :

f_1, f_2 sînt coeficienți de frecare vîscoasă;
D și l — diametrul și lungimea umărului pistonului diferențial (sertarul distribuitor);
η — viscozitatea dinamică a uleiului;
ε — jocul radial dintre pistonul diferențial și cilindrul său (sertarul distribuitor și bucșa sa).

Forța hidrodinamică rezistentă corespunde transformării cursei sertarului distribuitor în două debite de ulei și depinde de lățimea totală a ferestrelor h, de presiunea uleiului p_3 și de descoperirea ferestrelor $U + 2x$, raportată la axa pistonului diferențial :

$$F_4 = 0{,}43(h_1 + h_2)p_3 \cdot (U + 2x) \cdot 2. \qquad (20)$$

Forța motrică efectivă a pistonului diferențial, realizează o diferență de presiune Δp în camera la care se raportează. Pentru camera din dreapta, se poate scrie :

$$\Delta p_2 = \frac{F_5}{S_2 + S_3}. \qquad (21)$$

La această diferență de presiune, debitele de ulei care intră și ies din cameră se modifică, iar debitul motor va fi :

$$Q_m = \mu \cdot (A_1 + A_2) \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot g}{\gamma} \cdot \Delta p_2}\ , \qquad (22)$$

iar din elementele geometrice ale camerei din dreapta se poate scrie :

$$Q_m = S_2 \cdot \frac{\Delta x}{\Delta t} \qquad (23)$$

de unde rezultă cursa pistonului diferențial :

$$\Delta x = \frac{Q_m}{S_2} \cdot \Delta t. \qquad (24)$$

3. Elemente de simulare numerică

Ecuația diferențială neliniară (8) a fost integrată numeric cu ajutorul calculatorului CE 119 S. Au fost introduse următoarele date : $p_0 = 20$ bari ; $D_1 = 8$ cm ; $D_2 = 10$ cm ; $D_3 = 3$ cm ; $D_4 = 5$ cm ; $D_5 = 4{,}8$ cm ; $d_0 = 0{,}32$ cm ; $d_1 = 0{,}25$ cm ; $d_3 = 0{,}55$ cm ;

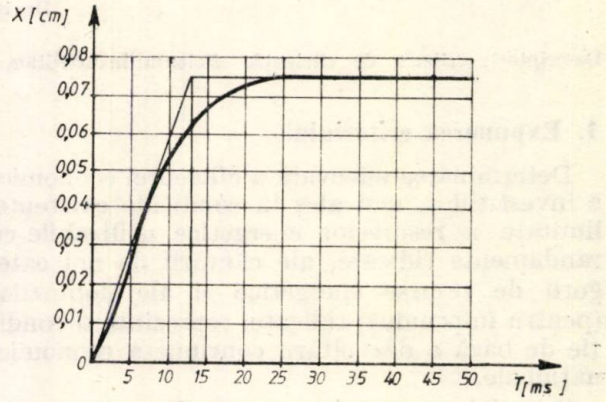


Fig. 3. Dinamica amplificatorului hidraulic.

$h_1 = 1{,}6$ cm ; $h_2 = 2{,}08$ cm ; $u = 0{,}6$ cm ; $p_3 = 10$ bari ; $G_1 = 5$ kg ; $G_2 = 2{,}5$ kg ; $G_3 = 3$ kg ; $l_2 = 3{,}5$ mm ; $\varepsilon_2 = 50\ \mu$m ; $l_4 = 2$ mm ; $\varepsilon_4 = 40\ \mu$m ; $\eta = 20 \cdot 10^{-3}$ Ns/m^2 ; $\mu = 0{,}65$; $g = 981$ cm/s^2 ; $\gamma = 0{,}85 \cdot 10^{-3}$kg/cm^3.

S-a studiat răspunsul amplificatorului la o deplasare bruscă a clapetei traductorului de turație cu $\Delta y = 0{,}075$ cm (treaptă unitară) corespunzătoare unei creșteri cu 4% a turației.

La această comandă (treaptă unitară) amplificatorul dezvoltă o forță inițială $F_1 = 297$ daN și prezintă o comportare aperiodică, fără oscilații, la trecerea de la punctul inițial la cel final. Amplificatorul poate fi asimilat cu un element de întîrziere de ordinul I a cărui constantă este de circa 15 ms, egală cu cea indicată de rapoartele de experimentare [3].

Concluzii

Corespondența bună dintre rezultatele teoretice și cele experimentale confirmă utilitatea modelului matematic.

Amplificatorul poate fi utilizat și pentru conducerea unor procese rapide deoarece la comanda, treaptă unitară, constanta de timp este de numai 15 ms.

Bibliografie

[1] Florea, S., Cătană, I. *Analiza și sinteza circuitelor hidraulice și electrohidraulice.* București, 1981.

[2] Marin, V., Moscovici, R., Teneslav, D. *Sisteme hidraulice de acționare și reglare automată.* Editura Tehnică, București, 1981.

[3] Breslașu, I. *Rapoarte de încercare turbine cu abur.* Intreprinderea de Mașini Grele, București, 1985.

[4] Grecu, T., Cârdu, M., Nicolau, I. *Turbine cu abur.* Editura Tehnică, București, 1976.

[5] Vasiliu, N., Onea, D., Matei, D., Nicolau, D., Chelaru, C. *Studiul comportării dinamice a convertorului electrohidraulic cu bobină mobilă.* Conferința de energetică, Institutul Politehnic București, noiembrie, 1986.

(Primit la 22 decembrie 1987, acceptat la 26 ianuarie 1988)

Determinarea eficienței investițiilor din instalațiile solare pe baza criteriului „durata de restituire a împrumutului energetic cu dobîndă"

Dr. ing. Liviu Lup*

Descriptori: criteriu de eficiență, eficiența investițiilor, dobîndă, energie solară, sisteme de termoficare

1. Expunerea criteriului

Determinarea adecvată a eficienței economice a investițiilor, mai ales în condițiile existenței limitate a resurselor energetice utilizabile cu randamente ridicate, ale căutării de noi categorii de resurse energetice și ale dobînzilor (pentru împrumut) ridicate, reprezintă o condiție de bază a dezvoltării continue a economiei naționale.

Criteriul propus în această lucrare pentru determinarea eficienței investițiilor este un criteriu energetic, pe baza căruia se poate stabili soluția optimă dintr-un număr de cel puțin două variante de instalații, sau de categorii de resurse energetice, de producere și de alimentare cu energie electrică, termică sau de altă natură și pentru orice fel de consumatori.

După cum se știe, în investiții este înglobată energie și, de asemenea, în timpul exploatării instalațiilor se consumă energie pe toată durata de viață.

În cazul mai multor variante este evident că soluția optimă este cea cu cantități minime de energie consumate, pe toată durata de realizare și funcționare a instalațiilor. Problema se complică atunci cînd una din variante are cantitatea de energie consumată în exploatare mai mică, iar energia înglobată în investiții este mai mare.

În cazul multor categorii de resurse energetice noi (care ar urma să înlocuiască combustibilii fosili) sau procese tehnologice noi, se constată că suplimentul de energie consumat pentru realizarea investițiilor nu poate fi recuperat în timpul duratei de viață de exploatare din economiile de consum anual de energie, așa cum se întîmplă la soluțiile cu utilizarea resurselor energetice clasice sau la soluțiile cu procese tehnologice clasice.

În normativul privind calculele tehnico-economice comparative editat de M.E.E. [1] se redau criteriile de eficiență utilizate în prezent (vezi și exemplele de calcul). Aceste criterii nu țin seama de faptul că pentru o datorie făcută în prezent (bănească sau energetică) trebuie plătite dobînzi (tot bănești sau energetice) care reduc substanțial economiile făcute anual la soluțiile cu investiții energetice mai mari, comparativ cu soluțiile cu consumuri energetice anuale mai mari.

A împrumuta în prezent și a returna datoria în viitor, în următorii 10—40 ani, poate fi, în multe variante, care par economice la prima vedere, o afacere, cel puțin din punct de vedere energetic, păgubitoare. Acest fapt este direct evidențiat, după părerea autorului, cu criteriul „durata de restituire a împrumutului energetic cu dobîndă" (DRIED), care reprezintă intervalul de timp în care întreprinderea restituie „creditul (împrumutul) energetic" (făcut pentru a putea realiza o anumită investiție), inclusiv dobînda corespunzătoare și deci reprezintă durata de rambursare energetică.

Se consideră că materiile prime, materialele și energia consumate suplimentar pentru realizarea investițiilor într-o variantă față de cele din o altă variantă, sînt luate cu împrumut din exterior, cu dobîndă, și trebuie restituite din economiile de materii, materiale și energie realizate anual.

Pentru soluțiile cu centrale termice solare sau pentru alte soluții similare cu funcționare intermitentă, care pe ansamblu ar putea aduce economii anuale de energie și de diverse categorii de materiale, valoarea acestui criteriu se determină conform cu cele rezultate în [2] din care extragem ideile principale.

Pentru cazurile în care se analizează oportunitatea integrării centralelor termice solare în schemele centralelor termice clasice se iau în considerare două rînduri de investiții, și anume :

— în centrale termice (CT) solare ;

— în centrale termice cu lignit (sau cu alt combustibil), pentru a asigura alimentarea consumatorilor atunci cînd CT solară nu poate funcționa la capacitatea cerută din cauza insuficienței radiației solare.

Pentru soluțiile în care se analizează oportunitatea integrării centralelor termice solare în schemele termice ale centralelor de termoficare se iau în considerare două sau trei rînduri de investiții, și anume :

— în centrale termice solare ;

— în centrale de termoficare ;

— în centrale electrice cu condensație pentru a compensa puterea redusă în centralele de termoficare, cînd, din cauza funcționării centra-

* Dr. ing. Liviu Lup — Institutul de Studii și Proiectări Energetice, București.

lelor solare și deci a reducerii consumului de energie termică de la prize sau din contrapresiune se reduce puterea turbinei, respectiv puterea electrică productibilă a grupului electrogen, deci atunci cînd :

$$P^2_{max} < P^1_{max}, \tag{1}$$

în care :

$$P^1_{max} = P^1_c + P^1_t, \tag{2}$$

$$P^2_{max} = P_{c\,max} + P^2_t. \tag{3}$$

În relațiile (1) — (3) s-a notat :

P^1_{max} — puterea maximă productibilă, la un moment dat în CET fără funcționarea CT solare ;

P^1_t — puterea productibilă în termoficare (prize sau contrapresiune) fără funcționarea CT solare ;

P^1_c — puterea necesară a fi produsă în condensație pentru a realiza puterea P^1_{max} ;

P^2_{max} — puterea maximă productibilă în CET la același moment ca mai sus, cînd funcționează CT solară ;

$P_{c\,max}$ — puterea maximă productibilă în condensație ;

P^2_t — puterea productibilă în termoficare (prize sau contrapresiune) cînd funcționează CT solară.

Puterea necesară a fi instalată suplimentar, ca medie anuală, în centralele cu condensație, ΔP, este dată de relația :

$$\Delta P = \frac{1}{d_e} \frac{\sum_i^T t_i (P^1_{i\,max} - P^2_{i\,max})}{T}, \tag{4}$$

unde :

d_e este coeficientul echivalent de disponibilitate [3] ;

T — timpul anual, în ore ;

t_i — timpul corespunzător valorilor $P^1_{i\,max}$ și $P^2_{i\,max}$.

Elementele de calcul propuse pentru acest criteriu sînt consumurile de energie și de materii prime din investiții și din timpul exploatării instalațiilor. Nu sînt cuprinse cheltuielile cu personalul (se consideră că nu este necesar să fie luate în calcul în prezent tocmai pentru a nu precupeți eforturi pentru realizarea de economii de energie).

Categoriile de consumuri de energie care trebuie să apară în balanțe sînt :

• *pentru energia înglobată în investiții* :

— energia înglobată în investițiile din centralele electrice sau termice clasice sau cu resurse energetice noi ;

— energia înglobată în investițiile din rețelele electrice, termice sau de transport feroviar ;

— energia înglobată în instalațiile de extracție și preparare a combustibilului ;

• *pentru energia consumată anual* :

— energia consumată pentru timpul funcționării instalațiilor ;

— energia consumată pentru realizarea reparațiilor din cursul anului ;

— energia consumată pentru extracția și transportul combustibililor ;

— energia consumată prin pierderile în rețele electrice și termice.

Categoriile de materiale (fier, aluminiu etc.) înglobate în investiții și respectiv consumate anual în exploatare pot fi analizate separat sau echivalate în energie, deoarece, ca și energia, și materialele înglobate în investiții pot servi ca mărfuri de import sau export.

Pentru echivalarea în energie a diverselor categorii de materiale înglobate în investiții se poate considera că investiția totală (I) are următoarele componente :

— investiția dată de valoarea bănească a energiei înglobate în investiții (I_e) ;

— investiția dată de diversele categorii de materiale înglobate în investiție (I_m) ;

— restul investiției, care cuprinde și echivalentul bănesc al forței de muncă (I_r), după relația :

$$I = I_e + I_m + I_r, \tag{5}$$

din care se poate deduce :

$$I_m = (I - I_e) - I_r = (I - I_e)\, k_{me} \tag{6}$$

sau

$$I_m = p_c E_m = (I - p_c E_e) k_{me}, \tag{7}$$

din care :

$$E_m = \left(\frac{I}{p_c} - E_e \right) k_{me}, \tag{8}$$

în care :

E_m este echivalentul în energie al diverselor categorii de materiale înglobate în investiție ;

p_c — prețul mediu al combustibilului în în țară (în prezent circa 1200 lei/tc.c., respectiv 40,9 lei/GJ) ;

E_e — energia înglobată în investiții ;

k_{me} — coeficientul pentru echivalarea în energie a materialelor înglobate în investiții. Valoarea lui k_{me} trebuie stabilită în fiecare caz în parte.

Printr-o relație similară cu relația (8) se echivalează în energie și diversele categorii de materiale consumate anual.

Pentru variantele în care se face utilizarea *RER* pentru producerea de abur sau apă caldă și care limitează producerea acestor agenți

termici în centralele clasice, se fac, de asemenea, limitări în producerea energiei termice și, după caz, și electrice și în consecință cresc consumurile specifice și prețul de cost în aceste categorii de centrale clasice.

Datoria exprimată bănește sau în unități de energie E_n de la sfîrșitul anului n se calculează cu relațiile din anexa 1.

2. Aplicații la centralele termice solare

S-au făcut analize pentru implementarea centralelor termice solare (CTS) în schemele centralelor termice sau de termoficare. Din analize a rezultat că implementarea CTS în schemele centralelor de termoficare nu este justificată economic, deoarece nu aduce economii de energie sau aduce economii foarte mici, care nu pot asigura recuperarea investițiilor realizate suplimentar.

Oportunitatea implementării CTS în schemele centralelor termice este funcție de investițiile și cheltuielile totale de exploatare, de consumul total de energie din resursele clasice și de producția utilă de energie a CTS.

În cele ce urmează se prezintă o analiză a oportunității centralelor solare, pentru următoarele date de bază :

— pentru centrala solară (în ansamblul ei) :
  - investiția specifică 500 la 3000 lei/m²;
  - energia înglobată în investiții 100 la 300 kg c.c/m² (2,93 — 8,79 MJ/m²);
  - energia termică produsă 200 la 800 mii kcal/m². an (8,4 — 33,5 MJ/m² an);

— pentru centrala termică cu lignit în care se implementează centrala termică solară :
  - investiția specifică 7200 mii lei/Gcal/h (14,8 mil. lei/ MW);
  - combustibil lignit cu puterea calorifică 1700 kcal/kg (7118 kJ/kg);
  - energia înglobată în investiții 70 t c.c/mil. lei = 500 t c.c./Gcal/h (14,7GJ/MW instalat);

— preț combustibil — lignit 810 lei/t c.c. (27,6 lei/MJ) :
  — mediu pe țară 1200 lei/t c.c. (40,9 lei/MJ);

— durata de utilizare anuală a capacității nominale 2400 h/an.

Pentru ca prețul energiei termice produse pe ansamblu (centrală termică cu lignit și centrală termică solară) să nu crească, pentru datele de bază luate în considerație, față de cele din cazul cînd centrala termică solară nu se realizează (și deci funcționează numai centrala termică cu lignit) va trebui ca centrala termică solară să realizeze util energie termică cel puțin la nivelul datelor din tabelul 1, funcție de investiția specifică în CTS.

Tabelul 1

Pentru investiția specifică în CT solară lei/m²	500	1000	1500	2000	2500	3000
Energia termică realizată util Mcal/m². an	350	570	660	740	800	850
MJ/m² an	1465	2386	2763	3098	3349	3559

În tabelul 2 se prezintă rezultatele analizei tehnico-economice comparative după diversele criterii de eficiență față de rezultatele obținute prin criteriul de eficiență DRIED.

Din datele din tabel se constată că :

— în toate cazurile analizate implementarea de CTS în schemele centralelor termice cu lignit duce la economii anuale de combustibil;

— prețul energiei termice crește, prin implementarea de CTS, atunci cînd investițiile cresc peste 1000 lei/m² (pentru întreaga instalație solară), iar producția utilă de energie termică scade sub 600 Mcal/m². an (2512 MJ/m² an);

— investiția specifică în unitatea de energie economisită anual are valori sub 35 mii lei/t c.c./an (1194 lei/MJ/an), atunci cînd prețul instalațiilor solare are valori sub 1500 lei/m² și producția de energie termică utilă are valori peste 300 Mcal/m² an (1256 MJ/m² an);

— durata de recuperare absolută a suplimentului de investiții din economiile de cheltuieli de exploatare are valori care depășesc, în general, durata de viață a instalațiilor (20 ani);

— cheltuielile totale actualizate cresc în toate cazurile analizate prin implementare de instalații solare.

În ceea ce privește criteriul DRIED se constată că acesta :

- *pentru dobînda de 8%/an* are valori sub 5 ani (deci datoria se restituie în cel mult 5 ani), atunci cînd investiția specifică este sub 1000 lei/m² pentru întreaga instalație solară, energia înglobată sub 150 kgc.c./m² (4396 MJ/m²) și producția de energie termică peste 300 Mcal/m²·an (1256 MJ/m² an), sau cînd investiția specifică este sub 2500 lei/m², energia înglobată sub 160 kgc.c/m² (4396 MJ/m²) și producția de energie termică peste 600 Mcal/m². an (2512 MJ/m²·an);
- *pentru dobînda de 15%/an* are valori sub 5 ani atunci cînd investiția specifică este sub 1000 lei/m², energia înglobată este sub 100 kg c.c./m² (2931 MJ/m²) și producția de energie este peste 450 Mcal/m² (1884 MJ/m²·an), sau cînd investiția specifică este sub 1500 lei/m², energia înglobată este sub 150 kgc.c/m² (4396 MJ/m²) și producția de energie este peste 600 Mcal/m²·an (2512 MJ/m²·an).

Tabelul 2

Eficiența implementării centralelor solare în schemele centralelor termice cu lignit cu puterea calorifică de 1700 kcal/kg, analizată după diverse criterii de eficiență

Date de bază									numai CT lignit	1000				1500						2500			
	1	Investiția specifică în centrala solară (inclusiv în captatoare solare)						mii lei/m²		600		300		600			300			600		300	
	2	Energie utilă produsă anual de centrala solară						mii kcal / m²·an		100	200	100	200	100	200	300	100	200	300	200	300	200	300
	3	Energia înglobată în centrala solară						kgc.c./m²															
	1	Economia netă de energie (lignit) realizată anual prin CT solară						kgc.c./m²·an	—	130	123	61	61	130	123	123	61	61	57	123	123	61	61
	2	Preț cost energie termică produsă						lei/Gcal	428	424	424	437	437	428	428	428	446	446	446	438	438	466	466
	3	Investiția specifică în unit.tea de energie economisită anual						mii lei / tc.c./an	—	8	8,7	17,5	20	12	13	14	26	29	35	22	23	49	58
	4	Durata de recuperare a suplimentului de investiții din economiile anuale de energie pentru 3000 lei/t c.c.						ani	—	4	5	8,6	11	5,7	6,8	8	12	15	19	11	12	23	29
	5	Durata de recuperare absolută a suplimentului de investiții din economiile anuale de cheltuieli de exploatare						ani	—	13	13	56	56	21	21	21	143	143	143	49	49	NR	NR
	6	Cheltuieli totale actualizate pentru 20 ani						mii lei	14066	14167	14167	14668	14668	14371	14371	14371	15076	15076	15076	14803	14803	15941	15941
	7	Coeficient de echivalare materiale [k_{me}]	Dobîndă 10	8	1	împrumut inițial echivalent energie		kc.c./m²	—	173	263	173	263	215	305	395	215	305	395	388	478	388	478
					2	restituire anuală		kc.c./m²·an	—	130	123	61	61	130	123	123	61	61	57	123	123	61	57
					3	datoria după 20 ani		kgc.c./m²	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
					4	durată de restituire DRIED		ani	—	2	3	4	6	2	3	4	5	6	9	4	6	10	16
	7′		15	10	1	împrumut inițial echivalent energie		kgc.c./m²	—	210	295	210	295	273	358	443	273	358	443	482	567	482	567
					2	restituire anuală		kgc.c./m²·an	—	130	123	61	61	130	123	123	61	61	57	123	123	61	57
					3	datoria după 20 ani		kgc.c./m²	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	213	1158
					4	durata de restituire DRIED		ani	—	3	4	5	8	3	4	6	7	11	18	6	8	NR	NR
	7″		20	15	1	împrumut inițial echivalent energie		kgc.c./m²	—	246	326	246	326	330	410	490	330	410	490	576	656	576	656
					2	restituire anuală		kgc.c./m²·an	—	130	123	61	61	130	123	123	61	61	57	123	123	61	57
					3	datoria după 20 ani		kgc.c./m²	—	0	0	0	0	0	0	0	0	1024	2967	0	0	4073	6070
					4	durata de restituire DRIED		ani	—	3	4	7	15	4	6	8	15	NR	NR	10	14	NR	NR
	NR — nu se restituie, nu se recuperează																						

1 kcal = 4,1868 kJ, 1 kgc.c. = 29,3076 MJ, 1 t.c.c. = 29,3076 GJ

Prin acest articol se propune nu excluderea altor criterii de eficienţă, ci utilizarea şi a acestui criteriu (DRIED) alături de altele şi în special alături de „cheltuieli totale actualizate" — CTA, în felul următor :

— atunci cînd valoarea DRIED este sub 5 ani, hotărîtor să fie DRIED indiferent de valoarea CTA, în scopul obţinerii pe ansamblu a economisirii energiei ;

— cînd valoarea DRIED este între 5 şi 15 ani, hotărîtor să fie CTA ;

— cînd valoarea DRIED este peste 15 ani, să nu se adopte soluţia cu instalaţii solare indiferent de valoarea CTA ;

— cînd valoarea DRIED este mai mare decît durata de viaţă a instalaţiilor solare, soluţia cu aceste instalaţii (solare) este evident păgubitoare.

3. Paralela între criteriile de eficienţă „cheltuielile totale actualizate" şi „durata de restituire a împrumutului energetic cu dobîndă"

Diferenţele între rezultatele obţinute prin criteriile de eficienţă economică „cheltuielile totale actualizate"—CTA — şi „durata de restituire a împrumutului cu dobîndă"—DRIED— provin în general din :

— diferenţele între valorile ratei de actualizare şi rata dobînzilor şi modul lor de aplicare ;

— raportul între cheltuielile totale, inclusiv pentru personal (investiţii sau de exploatare), şi cheltuielile pentru energie şi materii prime.

În [1] se defineşte modul de calcul al CTA.

După acest criteriu (CTA), o soluţie care are cheltuielile anuale de exploatare mai mici devine mai economică decît o altă soluţie cu investiţii mai mici, atunci cînd diferenţa dintre investiţiile actualizate de la prima soluţie şi cele de la cea de a doua soluţie dă un raport, faţă de diferenţa dintre cheltuielile anuale de exploatare de la cea de a doua soluţie şi cele de la prima soluţie, mai mic sau cel mult egal cu suma coeficienţilor de actualizare pe durata de viaţă (exploatare) a instalaţiilor, conform cu relaţia :

$$\frac{I_1^A - I_2^A}{C_2 - C_1} \leqslant \sum_i (1 + a)^{-i}. \qquad (9)$$

De exemplu, pentru valoarea lui „a" de 0,08 suma coeficienţilor de actualizare este de 9,815 pentru durata de viaţă (exploatare) a instalaţiilor de 20 ani şi respectiv de 11,651 pentru durata de 35 ani (momentul actualizării fiind considerat momentul dării în exploatare a instalaţiilor).

În cazul criteriului de eficienţă DRIED, o soluţie care are consumurile de energie şi materiale înglobate în investiţii mai mari are economii anuale la aceste categorii, faţă de alte soluţii ; soluţia respectivă permite restituirea împrumutului cu dobîndă în cel mult 5 ani dacă : pentru dobînda de 5 ; 8 ; 10 respectiv 15%/an valoarea raportului E_0/E_n este de cel mult 4,44 ; 4,15 ; 3,98 şi respectiv 3,6.

Valorile raportului pot fi calculate cu relaţia (1.n. din anexă) luînd $E_n = E_5$ (datoria de la sfîrşitul anului 5 de exploatare) egală cu 0.

Dacă valorile raportului E_0/E_r sînt (corespunzător valorilor dobînzilor redate mai sus) egale cu 20,5 ; 13 ; 10,5 şi respectiv 7,2, restituirea împrumutului nu se poate realiza niciodată. În cazul în care valorile raportului sînt mai mari, datoria creşte continuu. Valorile raportului pot fi calculate cu relaţia (1.1) pentru $E_1 = E_0$, deci considerînd că în toţi anii datoria rămîne constantă.

ANEXĂ

Evoluţia datoriei în funcţie de datoria totală E_0 din anul ce precede darea în exploatare a instalaţiilor şi de anul n de exploatare

$$E_1 = E_0(1 + D) - E_r\left(1 + \frac{D}{2}\right) =$$

$$= E_0(1 + D) - \frac{1}{2} E_r(2 + D), \qquad (1.1)$$

$$E_2 = E_1(1 + D) - \frac{1}{2} E_r(2 + D) =$$

$$= E_0(1 + D)^2 - \frac{1}{2} E_r (2 + D)[(1 + D) + 1], \qquad (1.2)$$

$$E_3 = E_2(1 + D) - \frac{1}{2} E_r(2 + D) = E_0(1 + D)^3 -$$

$$- \frac{1}{2} E_r(2 + D)[(1 + D)^2 + (1 + D) + 1], \qquad (1.3)$$

$$E_4 = E_r(1 + D) - \frac{1}{2} E_r(2 + D) = E_0(1 + D)^4 -$$

$$\vdots$$

$$- \frac{1}{2} E_r (2 + D)[(1 + D)^3 + (1 + D)^2 +$$

$$+ (1 + D) + 1], \qquad (1.4)$$

$$\vdots$$

$$E_n = E_0(1 + D)^n - \frac{1}{2} E_r (2 + D)[(1 + D)^{n-1} +$$

$$+ (1 + D)^{n-2} + \cdots + 1], \qquad (1.n)$$

unde:

E_1 reprezintă datoria de la sfîrşitul anului 1 de exploatare a instalaţiilor;

E_2 — datoria de la sfîrşitul anului 2 de exploatare;

$\vdots$

E_n — datoria de la sfîrşitul anului n de exploatare;

E_0 — datoria totală din anul ce precede darea în exploatare (datoria iniţială);

D — dobînda plătită anual pentru datorie;

n — anul de exploatare;

E_r — valoarea anuală a restituirii, considerată că se realizează uniform în tot cursul anului.

Din relația 1.n. se poate deduce numărul de ani în care se face restituirea energetică, calculînd pentru $E_n = 0$ (care corespunde anului cînd datoria este integral achitată), valoarea raportului:

$$R_E = \frac{E_0}{E_r} = \frac{(2+D)\,[(1+D)^{n-1} + (1+D)^{n-2} + \ldots + 1]}{2(1+D)^n} \qquad (2.1)$$

și știind că energia $E_0, E_1 \ldots E_n$ se măsoară în unități energetice, de exemplu în kg c.c., iar E_n se măsoară în unități energetice pe an, de exemplu în kgc.c./an sau MJ, respectiv MJ/an.

Bibliografie

[1] MEE. *Normativ privind calculele comparative tehnico-economice la instalațiile de producere, transport și distribuție a energiei electrice și termice.* PE 011/1982.

[2] L u p , L. *Criteriul „durata de restituire a împrumutului cu dobîndă și eficiența dublei investiții".* Sesiunea de comunicări tehnico-științifice—35 ani ISPE—ISPH (6—8/12. 1984).

[3] L u p , L. *Indici de disponibilitate la agregatele din centralele electrice.* În: Energetica, 30, 1982, nr. 6, p. 260—265.

(Primit la 18 februarie 1987, acceptat la 6 ianuarie 1988)

NOTA REDACȚIEI

Redacția ar fi preferat ca articolul să trateze în mod distinct criteriul propus în sine (definire, explicitare a condițiilor în care se aplică, semnificație, comparație cu alte criterii sub aspect conceptual și metodologic) și apoi, ca aplicație, eficiența utilizării instalațiilor solare în sisteme de termoficare.

Redacția a acceptat totuși articolul pentru publicare, apreciind că criteriul prezentat aduce elemente noi în comparație cu practica metodologică actuală. Într-adevăr, „durata de restituire a împrumutului energetic cu dobîndă" pare a fi identică cu „termenul de recuperare energetică", concept de mult uzual, *cu condiția aplicării actualizării la investiția energetică* — în aceasta constă noutatea principială introdusă de autor în articolul de față. Corecția este cu atît mai importantă, cu cît rata de actualizare (dobînda anuală) se apropie de inversul termenului inițial de recuperare (fără actualizare) în ani; la limită, termenul de recuperare cu actualizare devine infinit, deoarece, în fiecare an, economia realizată nu acoperă decît actualizarea (dobînda), investiția rămînînd nerecuperată.

Pentru valori uzuale, de exemplu rată de actualizare 6% și termen inițial de recuperare 8 ani, termenul de recuperare cu actualizare devine circa 12 ani; deci, corecția este substanțială. Mai rezultă că nu sînt de admis termene inițiale de recuperare egale sau mai mari decît inversul ratei anuale de actualizare (sau dobîndă).

Dr. ing. Mario Duma

NOUTĂȚI

Din energetica mondială

Securitatea nucleară a echipamentelor CNE în Franța

În publicația franceză *Epine* nr. 14/1987 este publicat un articol cu tema de mai sus, semnat de Eric Morange și Roulault Jean. Noțiunii (conceptului) de „securitate nucleară a echipamentelor CNE" autorii îi dau următorul sens: „gradul de ermetizare a circuitului primar al reactoarelor nucleare de tip PWR, posibilitatea opririi reactoarelor nucleare în caz de necesitate, posibilitatea prevenirii avariilor sau reducerea la minimum a urmărilor radiologice posibile în caz de avarie".

Cauze ale unor avarii probabile se consideră următorii factori: influențe externe (cutremure, inundații etc.) și avarii datorită defectelor și refuzurilor echipamentelor.

În scopul creșterii gradului de securitate a componentelor reactoarelor nucleare toate materialele și echipamentele se împart în trei grupe:

a — care funcționează în condiții deosebit de complexe (agresive);

b — supuse iradierii radioactive;

c — funcționînd în condiții normale.

Corespunzător acestor categorii se realizează controlul calității echipamentelor reactoarelor nucleare.

Asupra siguranței echipamentului, în procesul de funcționare, au o influență deosebită următoarele condiții: temperatura și presiunea, acțiunea chimică și iradierea radioactivă, factori de care trebuie să se țină seama la asimilarea echipamentului și a componentelor reactoarelor nucleare.

Ing. Mihai Nistor—ISPE

Metodă calorimetrică de determinare a energiei stocată în sisteme topite (în domeniul de temperatură 373 K—1073 K)

Dr. chim. Valeria Petrescu, ing. Adina Cotârţă, dr. ing. Teodor Vişan *

Descriptori: calorimetrie, stocarea energiei

Unul din modurile prin care se poate recupera şi stoca energia se referă la forma energiei termice. Energia termică poate fi stocată astfel:

— sub formă de căldură sensibilă:

$$\Delta H = \int_{T_1}^{T_2} C_p \, \mathrm{d}T, \qquad (1)$$

unde:

ΔH este variaţia de entalpie;

T_1, T_2 — temperaturile absolute iniţială şi finală;

C_p — capacitatea calorică molară a agentului termic folosit;

— sub formă de căldură latentă, prin schimbarea stării de agregare a agentului termic.

Rezultă că energia totală stocată, incluzînd şi trecerea substanţei dintr-o fază în alta, este:

$$\Delta H = \int_{T_1}^{T_{tr}} C_{p_\alpha} \, \mathrm{d}T + \Delta H^{tr} + \int_{T_{tr}}^{T_2} C_{p_\beta} \, \mathrm{d}T, \qquad (2)$$

unde:

T_{tr} reprezintă temperatura transformării de fază;

ΔH^{tr} — căldura de transformare;

C_{p_α}, C_{p_β} — capacităţile calorice molare ale fazelor α şi β.

Datorită ireversibilităţii proceselor şi pierderilor de căldură către mediul ambiant prin izolaţii, randamentul căldurii preluate nu este niciodată 100% într-un mediu real. De aceea, se impun cu necesitate studii experimentale privind cantitatea de energie stocată în condiţii cît mai apropiate de regimul de funcţionare al sistemelor reale de stocaj termic — cu viteze de răcire şi fluxuri de căldură relativ ridicate.

În lucrarea de faţă se propune un astfel de studiu pentru cazul topirii unor sisteme promiţătoare în ceea ce priveşte stocajul termic. Nu se propune ca obiectiv determinarea foarte exactă a căldurii latente de topire şi a căldurii sensibile, ci se încearcă elaborarea unei metode de studiu rapidă şi ieftină, în vederea obţinerii de date pentru proiectarea sistemelor de stocaj.

S-a folosit în acest scop un calorimetru, răcit cu apă în curgere continuă, în regim staţionar (debit constant), în care se introduce un conteiner de oţel inoxidabil, conţinînd sistemul topit la o temperatură de circa 723—773 K (în funcţie de sistem). S-au ridicat cîte 10—15 curbe de răcire ale topiturilor de azotat de sodiu, hidroxid de sodiu tehnic şi respectiv ale eutecticului topit de clorură de litiu + clorură de potasiu. În figurile 1—3 sînt exemplificate astfel de curbe de răcire pentru fiecare sistem.

Atît căldurile latente, cît şi cele sensibile se obţin prin determinarea căldurii preluate de apa de răcire din calorimetru:

$$q = \text{Debit} \cdot c_p \cdot \Delta t \cdot \Delta \tau, \qquad (3)$$

unde:

c_p este căldura specifică a apei;

Δt — variaţia de temperatură a apei din calorimetru;

$\Delta \tau$ — durata fie a solidificării în cazul căldurii latente, fie a răcirii topiturii şi a solidului în cazul căldurii sensibile.

Produsul $\Delta t \cdot \Delta \tau$ se determină din curbele de răcire experimentale, planimetrînd suprafeţele determinate de variaţiile de temperatură ale apei din calorimetru, atît pentru transferul căldurii sensibile, cît şi pentru căldura latentă.

Pentru evaluarea căldurii sensibile reale a sistemului de stocaj s-a scăzut din căldura sensibilă determinată pentru sistem, căldura sensibilă a oţelului, adică a materialului din care este confecţionat conteinerul. În practică, într-un sistem de stocaj real, întotdeauna topiturile se află încapsulate în conteinere metalice şi deci cădura de stocaj include şi căldura sensibilă a conteinerului metalic.

În tabelul 1 sînt prezentate valorile medii obţinute pentru căldurile latente şi pentru căldurile sensibile, precum şi valorile medii ale căldurii totale stocate. S-a calculat teoretic, pentru a compara cu rezultatele experimentale, căldura totală a azotatului de sodiu pe intervalul de temperaturi ale curbei de răcire între 823 K şi 528 K; a rezultat o valoare de 716,49 kJ/kg. Compararea acestei valori cu cea obţinută experimental (de 635,59 kJ/kg) duce la o concordanţă satisfăcătoare. Valoarea experimentală găsită pentru căldura latentă de topire a azotatului de sodiu, de 166,85 kJ/kg, concordă

* Dr. chim. Valeria Petrescu, dr. ing. Teodor Vişan — Facultatea Tehnologie Chimică, Institutul Politehnic Bucureşti, ing. Adina Cotârţă — Institutul de Energetică Chimică şi Biochimică, ICECHIM, Bucureşti.

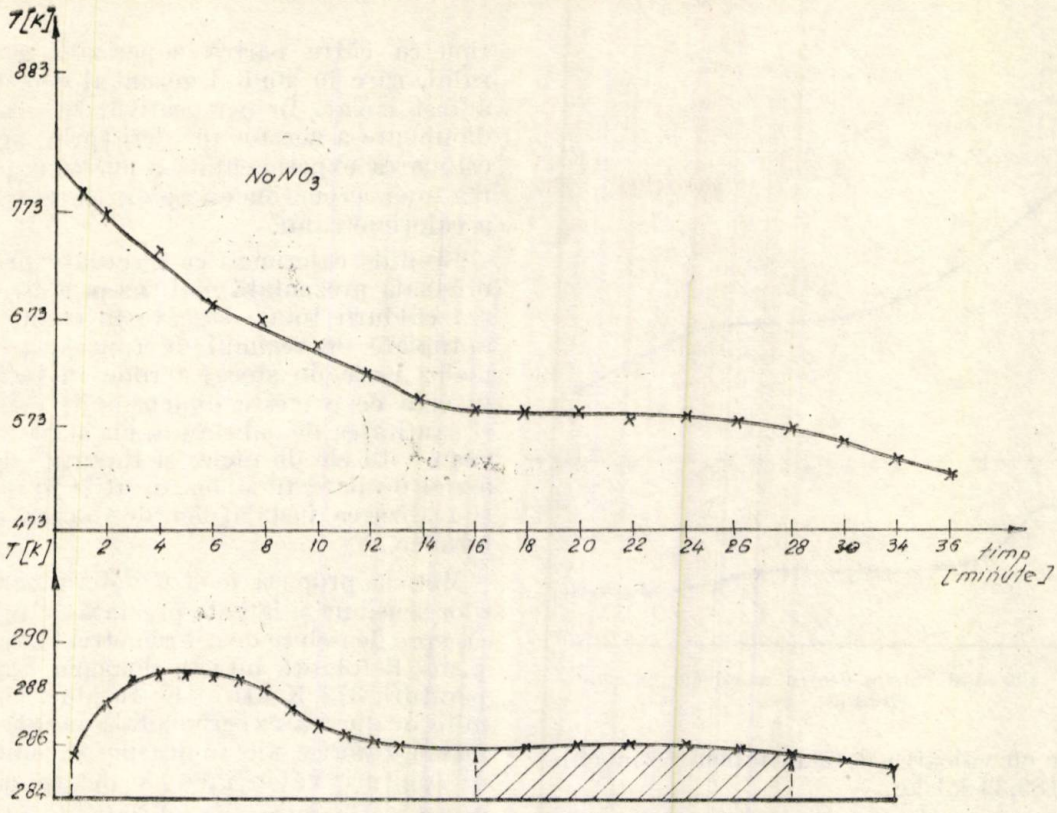


Fig. 1. Curbă de răcire pentru sistemul $NaNO_3$.

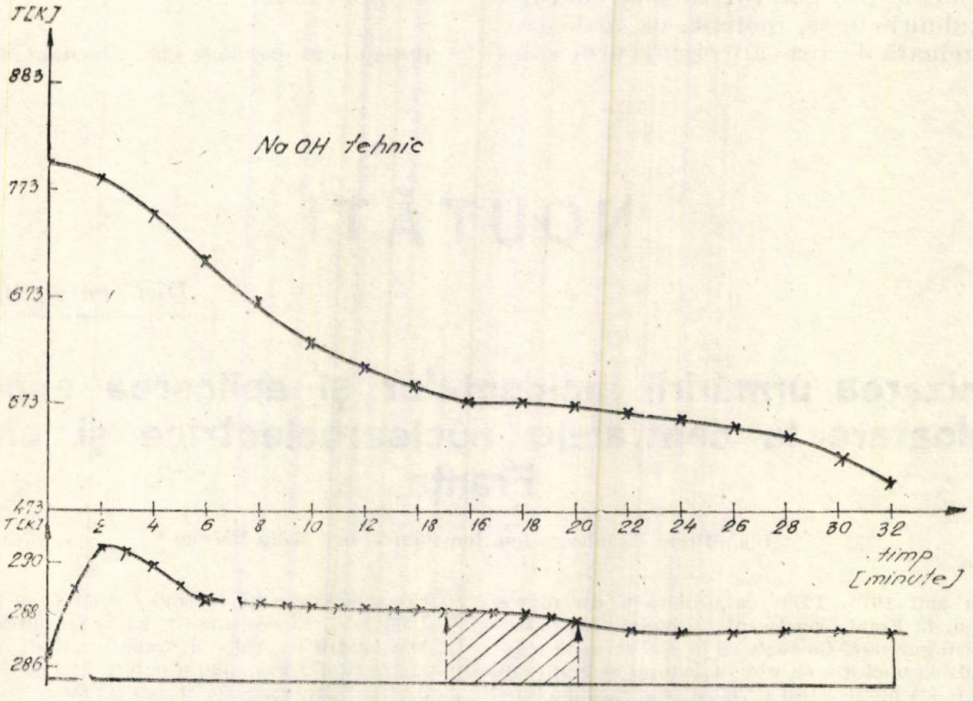


Fig. 2. Curbă de răcire pentru sistemul NaOH tehnic.

Tabelul 1

Sistem	ΔH_{topire}		$\Delta H_{sensibil}$		ΔH_{total}	
	kJ/kg	kJ/m³·10⁻³	kJ/kg	kJ/m³·10⁻³	kJ/kg	kJ/m³·10⁻³
$NaNO_3$	166,85	377,08	468,74	1059,35	,59	1456,43
NaOH	271,44	578,18	608,92	1997	,36	2575,18
LiCl+ KCl	175,3	353,75	399,06	805,31	,36	1159,06

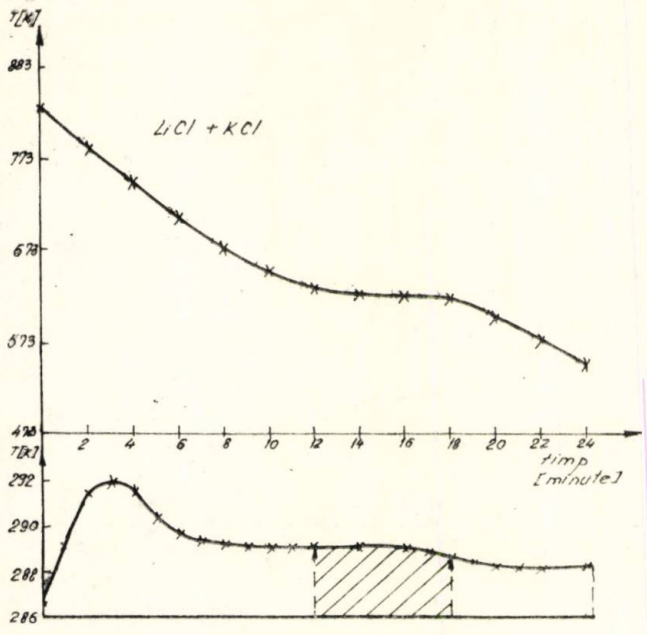


Fig. 3. Curbă de răcire pentru amestecul eutectic KCl-LiCl.

şi ea bine cu valoarea dată în tabele termochimice de 189,33 kJ/kg.

Valorile mai mici obţinute experimental se explică, evident, prin faptul că s-au neglijat pierderile, admiţîndu-se, ipotetic, că toată căldura este preluată de apa care circulă prin calorimetru către partea superioară a conteinerului, care în stadiul actual al cercetărilor nu a fost izolat. În perspectivă, se poate face o diminuare a acestor pierderi (prin izolare), sau estimarea experimentală a acestora, prin ataşarea unei serpentine cu apă în partea superioară a calorimetrului.

Studiile calorimetrice efectuate prin metoda originală prezentată mai sus permit, deci, aflarea căldurii totale stocate în condiţii cît mai apropiate de regimul de funcţionare al sistemelor reale de stocaj termic în topituri, atît în ceea ce priveşte dimensiunile conteinerului şi cantitatea de substanţă, cît şi în ceea ce priveşte vitezele de răcire şi fluxurile de căldură, astfel de date fiind foarte utile în proiectarea şi realizarea instalaţiilor de stocare a energiei termice.

Metoda propusă pentru determinarea căldurilor sensibile şi latente prezintă marele avantaj că, spre deosebire de calorimetria clasică cu apă, poate fi folosită într-un domeniu larg de temperaturi, 373 K—1073 K. În plus, metoda permite evaluarea experimentală rapidă a capacităţilor calorice ale topiturilor şi amestecurilor de topituri, valori greu de determinat experimental prin metode tradiţionale, dar esenţiale în proiectare.

(Primit la 21 noiembrie 1987, acceptat la 17 decembrie 1987)

NOUTĂŢI

Din energetica mondială

Organizarea urmăririi incidentelor şi aplicarea experienţei de exploatare la centralele nuclearoelectrice şi clasice din Franţa

Ing. Mircea Rădulescu, ing. Ion Bănică, ing. Radu Băcanu *

Începînd cu anii 1973—1974, ca urmare a declanşării crizei petrolului, în Franţa s-a trecut la dezvoltarea puternică a energeticii nucleare. Cu toate că în acel moment existau cîteva centrale nucleare cu uraniu natural şi grafit, filiera pentru care s-a optat a fost CNE cu reactoare nucleare de tip PWR. Această opţiune a condus la crearea, începînd din 1975, a unei industrii de echipamente nucleare şi la investiţii suplimentare în instalaţiile de îmbogăţire a uraniului.

Realizarea programului nuclear a fost coordonată în întregime de Electricité de France (EdF), prin concepţia unitară, alegerea acelor şi executanţi principali pentru toate unităţile, montajul, punerea în funcţiune şi exploatarea centralelor nuclearoelectrice. La finele anului 1986 EdF a avut în exploatare nouă centrale tip PWR cu puterea unitară de 1300 MW, 33 centrale tip PWR cu puterea unitară de 900 MW, patru centrale cu uraniu natural, moderator grafit şi răcire cu gaz însumînd o putere de 1740 MW, trei centrale de tip FBR, realizate şi exploatate în colaborare cu parteneri externi, însumînd o putere de 1738 MW.

Centralele termoelectrice sînt reprezentate de 28 centrale pe cărbune totalizînd 8680 MW, 14 centrale pe păcură totalizînd 6915 MW, nouă centrale diverse (gaze, gaze de furnal), totalizînd 939 MW şi 18 grupuri cu turbine cu gaze totalizînd 806 MW.

Este de remarcat că baza programului nuclear francez este constituită din unităţi tipizate tip PWR de 900 şi 1 300 MW.

Producţia de energie electrică a Franţei în cursul anului 1986 a fost realizată după cum urmează: 70 % în centrale nuclearoelectrice, 19 % în centrale hidroelectrice, 8 % în

* Ing. Mircea Rădulescu, ing. Ion Bănică, ing. Radu Băcanu — ICEMENERG, Bucureşti.

centrale termoelectrice pe cărbune și 3% din alte surse de energie. Reglarea frecvenței în sistemul energetic este realizată de centralele termoelectrice, dar la acest proces participă și o parte din centralele nuclearoelectrice de 900 MW.

Avînd în vedere gradul înalt de dezvoltare a producției electrice nucleare s-a ajuns la necesitatea generalizării experienței de exploatare în acest domeniu. Luarea în considerare a rezultatelor experienței reușite și nereușite este o acțiune firească, generatoare de progres. Pentru urmărirea, analizarea și generalizarea experienței de exploatare la centralele nuclearoelectrice de tip PWR din Franța, la cererea Serviciului Central de Securitate a Instalațiilor Nucleare (SCSIN), s-a decis, în anul 1981, constituirea unui fișier național de incidente bazat pe tehnica de calcul. Fișierul de incidente a creat posibilitatea punerii la punct a unui proces de aplicare a experienței, numit „retur de experiență", bazat pe concepția EdF conform căreia informațiile necesare creșterii disponibilității, fiabilității și securității unei CNE trebuie să circule pe principiul ciclic „feed back" între domeniile de activități inginerești, care contribuie, prin studii, proiecte, fabricație, construcție-montaj, probe și exploatare, la realizarea scopului propus — producerea energiei electrice. Acest fapt a decurs din obiectivele avute în vedere:

— nivelul de siguranță și securitate pe care EdF trebuie să îl garanteze autorităților de securitate nucleară;

— disponibilitatea maximă posibilă a capacităților de producție;

— competitivitatea filierei franceze pe plan internațional.

Din anul 1983, fișierul național de incidente a devenit operațional și răspunde următoarelor obiective:

— memorizarea experienței de exploatare;

— îmbunătățirea accesului la informațiile tehnice;

— analizarea incidentelor semnificative ce apar în exploatarea unităților nucleare cu reactoare de tip PWR;

— obținerea unor măsuri utile care să conducă la îmbunătățirea concepției și exploatării unităților nucleare.

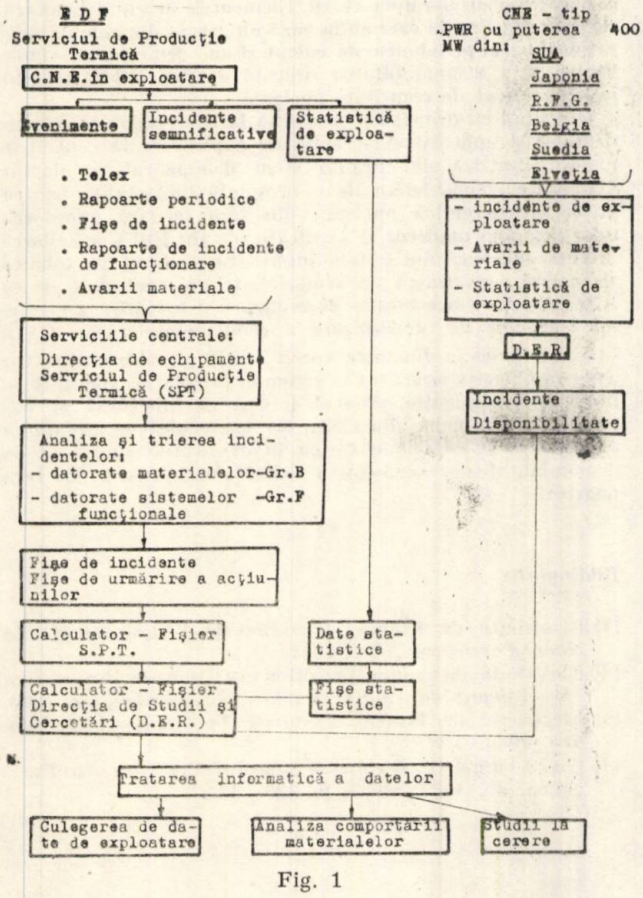


Fig. 1

Concepția de urmărire a incidentelor este prezentată schematic în figura 1.

Datele colectate sînt: incidente de exploatare (opriri, abateri de la sarcina nominală, nerespectarea specificațiilor tehnice), incidente care pot influența securitatea centralei nucleare, incidente datorate erorilor umane, date de exploatare (coeficienți de disponibilitate și producție).

Banca de date conținea la sfîrșitul anului 1986 aproximativ 30 000 de incidente tipice. EdF participă la schimbul de experiență internațional, fiind membră a INPO (Institute of Nuclear Power Operation). Cele mai semnificative evenimente analizate de acest organism internațional sînt incluse în banca de date. În acest fel sînt accesibile informații asupra evenimentelor survenite la CNE de tip PWR din S.U.A., Japonia, R.F.G., Belgia, Suedia, Elveția. Pe baza acestor date, prin intermediul tratărilor informatice, se efectuează diverse studii:

— cu caracter general:
- evoluția parametrilor de exploatare;
- evoluția defectelor unui circuit datorită unui anumit material;
- comparații între diferitele echipamente din punctul de vedere al fiabilității;

— cu caracter special:
- evoluția numărului de opriri neprevăzute în CNE franceze;
- analiza comportării în exploatare a CNE din țările care participă la schimbul de informații;
- determinarea din timp a apariției fenomenului de îmbătrînire a materialelor din reactoarele nucleare, generatoarele de abur, pompele primare de circulație, turbinele cu abur;
- cuantificarea evoluției disponibilității;
- determinarea factorului de uzură în funcție de timp, îmbunătățirea factorului durată de viață în funcționare;
- determinarea solicitărilor termohidraulice critice etc.

Rețeaua de utilizatori ai datelor cuprinde organismele de securitate, servicii centrale ale EdF, precum și centralele nuclearoelectrice. Fiecare utilizator dispune de o consolă legată la unitatea centrală de calculator, aflată la Centrul de Informatică de la Saint-Denis (Paris). Consultarea fișierului este concepută în modul conversațional și se face prin intermediul mai multor programe de interogare, organizate după diferite criterii de triaj. Există programe de editare pe imprimantă, care completează programele de interogare pe ecran.

Procesul de „retur de experiență" cuprinde cinci faze:

a) acumularea datelor de tip eveniment—incident;

b) analiza și trierea acestor date, luarea deciziei de studiu;

c) elaborarea studiului de principiu și luarea deciziei de aplicare;

d) elaborarea studiului de realizare;

e) implementarea modificărilor rezultate din studiul de realizare.

Strîngerea informațiilor este baza întregului proces.

Informațiile din orice fază a evoluției unei centrale sînt utile, dar acumularea datelor de tip eveniment—incident, exactitatea acestora, are o importanță majoră în cadrul acestui proces. Ele sînt culese din documente periodice (telexuri, rapoarte), ocazionale (fișe de raport asupra incidentelor) sau din schimburile de informații care au loc cu ocazia reuniunilor periodice. O altă sursă de informații sînt anchetele pe teme prestabilite. Analiza și triajul pot fi efectuate local, de către specialiștii din construcția sau exploatarea CNE respective, sau la nivel central. În acest sens, în cadrul EdF există trei compartimente destinate procesului de retur de experiență;

— COREX (Comitetul Returului de Experiență) — aparține Direcției de echipamente și are incidență asupra proiectelor în studiu.

— Grupa B — se ocupă de evenimentele datorate materialelor.

— Grupa F — se ocupă de evenimentele în care este implicată funcționarea sistemelor (grupele B și F aparțin Serviciului de Producție Termică).

Pentru fiecare eveniment analizat şi reţinut de aceste grupe se elaborează o fişă de „retur de experienţă", care cuprinde şi urmărirea documentelor stabilite, măsurilor luate, deciziilor de aplicare etc. Aceste fişe sînt introduse în fişierul informatic de incidente. Rezultatul concret al fazelor de elaborare a studiului de principiu şi luare a deciziei de aplicare şi de elaborare a studiului de realizare este fişa de modificare. Schematic, întregul proces este prezentat în figura 2.

În afară de fişierul de incidente, care este baza de plecare a procesului, mai există şi alte gestiuni informatice referitoare la fazele de decizie şi la modificări. Procesul de „retur de experienţă" este adaptabil diferitelor situaţii impuse de incidentele care apar, şi anume dacă incidentul necesită

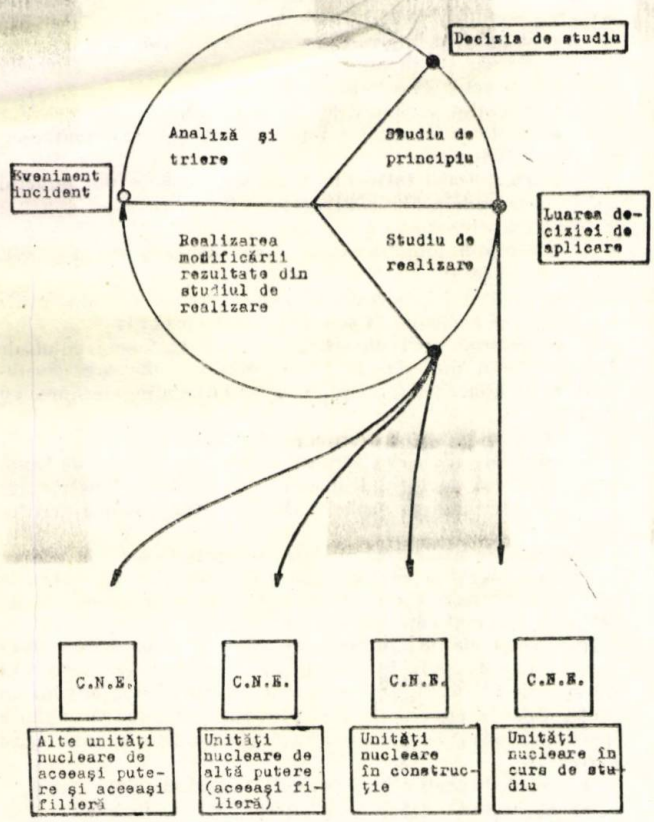


Fig. 2

măsuri de corectare urgente, sau nu, dacă unitatea nucleară respectivă sau unităţi nucleare din aceeaşi filieră (de aceeaşi putere unitară sau de puteri unitare diferite) sînt în curs de transfer de sub autoritatea Direcţiei de Echipamente (constructor şi executant) sub autoritatea Serviciului de Producţie Termică (exploatare) sau se află la momentul respectiv sub autoritatea unui singur eşalon din cele două menţionate.

Rezultatul procesului, sintetizat în fişa de modificare, este valabil pentru toate centralele din aceeaşi filieră, iar modificarea—modernizarea se aplică la toate aceste centrale. Procesul de retur de experienţă se bazează pe o serie de gestiuni informatice pentru: nomenclatura materialelor, echipamentelor şi sistemelor, urmărirea administrativă a procesului de luare a deciziei de modificare, gestiunea studiilor de executare a modificărilor, gestiunea execuţiei modificărilor şi pentru consultarea de către diferitele compartimente locale şi centrale a efectelor modificărilor implementate. Aceste gestiuni au ca punct de pornire fişierul de incidente prezentat anterior şi la rîndul lor furnizează acestui fişier date referitoare la modificările survenite în urma unui anumit eveniment incident.

După această trecere sumară în revistă a procesului de „retur de experienţă" s-ar putea pune întrebarea dacă această suprastructură complicată avînd ca material de lucru o multitudine de fişe de diferite tipuri şi care foloseşte o importantă bază materială din domeniul informaticii este cu adevărat indispensabilă.

Concepţia EdF este că energetica nucleară, implicată major în economia naţională franceză, necesită o atenţie şi o preocupare cu totul speciale şi că procesul dinamic bazat pe CNE standardizate trebuie condus cu rigoare, fără omisiuni sau neglijări, ceea ce necesită o formalizare şi o gestiune corespunzătoare.

Pentru centralele electrice clasice nu este folosită tehnica de calcul în urmărirea şi centralizarea incidentelor şi avariilor. Pentru consemnarea incidentelor şi avariilor în centralele clasice se folosesc:

— fişa de incident de origine internă sau externă, care se completează de către serviciul de exploatare al centralei după analiza incidentului;

— fişa de avarie de material, care se completează de către serviciul de întreţinere (prin Biroul de metode) după executarea reparaţiei echipamentului avariat. Prelucrarea statistică a acestora şi transmiterea experienţei se face cu ocazia rapoartelor periodice anuale de activitate şi de incidente. Sistemul de urmărire, analiză şi informări periodice asupra incidentelor şi avariilor din centralele electrice clasice este asemănător cu cel care funcţionează în ţara noastră. Chiar fişele de incident şi de avarie care se completează în centralele electrice din R.S.R. şi Franţa sînt foarte asemănătoare. Trebuie menţionată însă o prevedere interesantă existentă în fişele de incident din instalaţiile centralelor electrice clasice franceze, care se referă la situaţia de funcţionare a blocului energetic înaintea incidentului (normală, pornire, în curs de variaţie a sarcinii) şi în care se consemnează şi dacă blocul funcţiona cu reglaj automat sau manual. Se poate constata deci importanţa care se acordă modului de reglaj, care poate constitui un element important în explicarea cauzelor unor avarii. Elementele de suprastructură existente în Franţa care au la bază un proces dinamic — operaţional bazat pe tehnica de calcul şi-au demonstrat viabilitatea prin disponibilitatea ridicată a CNE (83%) şi prin nivelul ridicat de securitate nucleară.

Dat fiind că principiile care stau la baza organizării incidentelor şi aplicării experienţei de exploatare la centralele nuclearoelectrice din Franţa şi-au demonstrat pe deplin viabilitatea, considerăm de o deosebită importanţă pentru viitoarea energetică nucleară din ţara noastră adoptarea unor principii moderne şi verificate (de tip EdF), asimilarea şi introducerea unui sistem informatic — bazat pe tehnică de calcul românească de urmărire, triere, analiză — şi ca o rezultantă a acestora — de realizare şi urmărire a efectelor soluţiilor de modernizare a echipamentelor din CNE.

Aceste procese dinamice vor fi de tip „feed-back" şi vor avea ca obiectiv aplicarea experienţei proprii în: concepţie—proiectare, fabricaţie, montaj, punere în funcţiune şi exploatarea sistemelor din CNE, iar ca rezultat — asigurarea producerii de energie electrică în cantităţile garantate de disponibilitatea şi securitatea centralelor nucleare din ţara noastră.

Bibliografie

[1] Electricité de France, Direction de l'Equipement. *Le rétour d'experience*, dec. 1984.

[2] Electricité de France, Direction des Etudes et Recherches. *Les banques de données de retour d'experience*, ian. 1986.

[3] Electricité de France. *Resultats Techniques d'Exploitation*, 1986—1987.

[4] Cartianu, P. *O carte de istoria electrificării.* În: Energetica, 35, 1987, nr. 7. p. 325—330.

Titlul invenţiei: MATRIŢĂ COMBINATĂ MULTIFUNCŢIONALĂ DE FORMARE PRIN INJECTARE, PENTRU MATERIALE PLASTICE *

Inventator: ing. Polescu Ioan Petre
Dosar nr.: 114.355
Data înregistrării: 23.04.1984
Clasificare internaţională: B 29 F1/022
Brevet România: 91.168
Titular: Institutul de Cercetări şi Modernizări Energetice, Bucureşti.

Invenţia se referă la o matriţă de formare prin injectare indirectă, nepunctiformă şi comutabilă, pentru prelucrarea maselor plastice. Matriţa este prevăzută cu un distribuitor central de injectare cu comutare inferioară, fără bacuri mobile de formare.

Sînt cunoscute mai multe tipuri de matriţe de formare prin injectare necomutabile, care asigură realizarea pieselor din mase plastice prin intermediul procedeului tehnologic de formare prin injectare indirectă, nepunctiformă şi necomutabilă, după cum urmează:

— matriţă de formare prin injectare indirectă, nepunctiformă, necombinată şi necomutabilă, cu locaşuri de piese identice şi nedemontabile, care realizează un singur tip de piesă;

— matriţă de formare prin injectare indirectă, nepunctiformă, semicombinată şi necomutabilă, cu locaşuri de piese neidentice şi nedemontabile, care realizează mai multe tipuri de piese pe aceeaşi matriţă;

— matriţă de formare prin injectare indirectă, nepunctiformă, combinată şi necomutabilă, cu locaşuri de piese neidentice şi demontabile, care realizează mai multe tipuri de piese pe aceeaşi matriţă.

Soluţiile tehnice cunoscute de matriţe de formare prin injectare clasică prezintă următoarele dezavantaje:

— reţelele de injectare sînt fixe şi nu sînt prevăzute cu cavităţi, canale şi microcanale de alimentare comutabile;

— alimentarea locaşurilor de piese cu material plastic plastifiat injectat este necomutabilă, indiferent dacă locaşurile de formare sînt identice sau neidentice, demontabile sau nedemontabile;

— schemele de lucru sînt neflexibile, neputîndu-se realiza o comutare independentă a reţelelor de injectare parţiale, care sînt existente pe aceeaşi matriţă de formare prin injectare multi-tipo-pies;

— numărul pieselor de diferite tipuri, care se realizează pe aceeaşi matriţă prin intermediul procedeului de formare prin injectare indirectă, necomutabilă, este limitat şi condiţionat de următoarele situaţii constructive şi tehnologice:

- piesele injectate de diferite tipuri trebuie să prezinte o configuraţie geometrică (o geometrie a formei) apropiată, pentru a se asigura o umplere simultană a tuturor cavităţilor de formare existente pe aceeaşi matriţă;
- piesele de diferite tipuri care intră în componenţa constructivă a unui produs şi care sînt concepute şi proiectate să fie executate pe aceeaşi matriţă de formare prin injectare necomutabilă trebuie să fie în număr egal pe produs sau numărul lor să difere printr-un multiplu;

— matriţele de formare prin injectare multi-tipo-pies, prevăzute cu cuiburi de formare demontabile, necesită demontarea repetată a matriţelor de pe platourile maşinii de injecţie, după injectarea fiecărui tip de piesă. Aceste demontări repetate au următoarele inconveniente:

- micşorează productivitatea muncii la procesul de formare prin injectare multi-tipo-pies, necomutabil;
- micşorează durabilitatea matriţelor de formare prin injectare multi-tipo-pies, necomutabilă, care sînt prevăzute cu elemente active de formare demontabile;
- creşte efortul fizic al presatorilor din cadrul atelierelor de prelucrare a maselor plastice, datorită repetatelor operaţii de demontare, manipulare, fixare, centrare şi de reglare a aceleiaşi matriţe pe platourile maşinii de injecţie. Aceste operaţii sînt repetabile în funcţie de numărul elementelor active de formare demontabile cu care matriţa de formare prin injectare indirectă multi-tipo-pies, necomutabilă, a fost prevăzută din proiectare.

Invenţia înlătură dezavantajele menţionate, prin aceea că matriţa de formare prin injectare indirectă multi-tipo-pies, comutabilă, este prevăzută cu un distribuitor central de alimentare cu comutare inferioară.

Blocarea distribuitorului central de injectare cu comutare inferioară, în timpul procesului de lucru, după executarea cursei de comutare, se realizează prin intermediul unui subansamblu de blocare.

Rotirea distribuitorului central de injectare cu comutare inferioară, dintr-o poziţie de lucru în alta, se realizează prin intermediul unui subansamblu de comutare.

În continuare se dau detalii constructive legate de realizarea invenţiei.

În figura 1, se prezintă schema de lucru flexibilă a unei matriţe de formare prin injectare indirectă, comutabilă, care este prevăzută cu un distribuitor central de injectare cu comutare inferioară.

Conform invenţiei, în funcţie de gradul de flexibilitate a tehnologiei de formare, schemele de lucru sînt următoarele:

— schemă de lucru prevăzută cu o flexibilitate centrală superioară;

— schemă de lucru prevăzută cu o flexibilitate centrală inferioară;

— schemă de lucru prevăzută cu o flexibilitate centrală superioară şi inferioară.

Invenţia permite transformarea unor matriţe clasice de formare prin injectare indirectă, prevăzute cu zone active de formare nerecuperabile, în matriţe de formare prin injectare indirectă, comutabilă (fig. 2, 3).

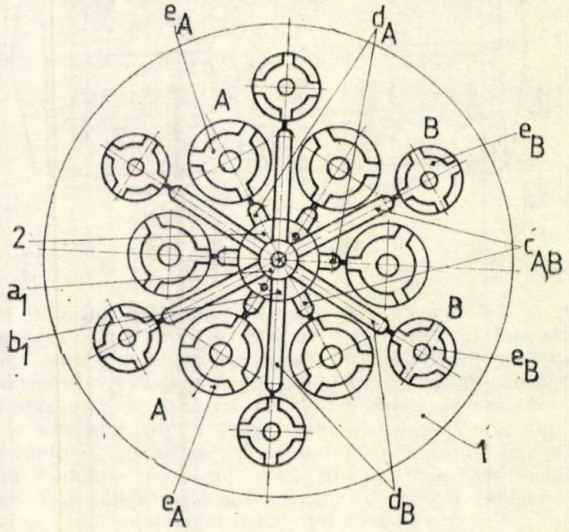


Fig. 1. Schema de lucru flexibilă a unei matriţe de formare prin injectare indirectă, nepunctiformă, cu comutare centrală inferioară: 1 — placa de formare inferioară, de la o matriţă cu alimentare comutabilă; 2 — distribuitorul central de injectare cu comutare inferioară, prevăzut cu şase microcanale de alimentare; a_1 — cavitatea centrală de distribuţie cu comutare inferioară; b_1 — microcanalul central de alimentare cu comutare inferioară; $c_{A,B}$ — reţeaua de injectare generală cu comutare centrală inferioară A şi B; d_A — reţeaua de injectare parţială cu comutare centrală inferioară, independentă A; e_A — locaşul de formare tip A cu alimentare comutabilă; d_B — reţeaua de injectare parţială cu comutare centrală inferioară, independentă B; e_B — locaşul de formare tip B cu alimentare comutabilă.

* Invenţia a obţinut următoarele premii:
— Menţiune la Salonul de Invenţii — Timişoara, iulie 1985;
— Premiul III la Salonul de Invenţii — Constanţa, mai 1987;
— Menţiune la Salonul de Invenţii — Prahova, iulie 1987.

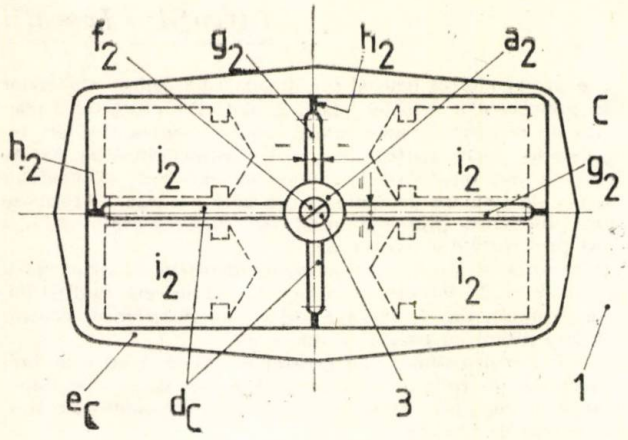


Fig. 2. Schema de lucru neflexibilă a unei matriţe de formare prin injectare indirectă, clasică, prevăzută cu zone active de formare nerecuperabile (inutilizabile): 1 — placa de formare inferioară, de la o matriţă cu alimentare necomutabilă; 3 — extractorul central de culee; f_2 — locaşul central al extractorului de culee fără autoextracţie; d_C — reţeaua de injectare clasică cu alimentare centrală inferioară C; a_2 — cavitatea centrală de distribuţie inferioară, fixă, fără autoextracţie; g_2 — canalul central de alimentare inferior, fix; h_2 — microcanalul central puntiţă de injectare inferior, fix; e_C — locaşul de formare tip C cu alimentare necomutabilă; i_2 — zona activă de formare inutilizabilă (nerecuperabilă).

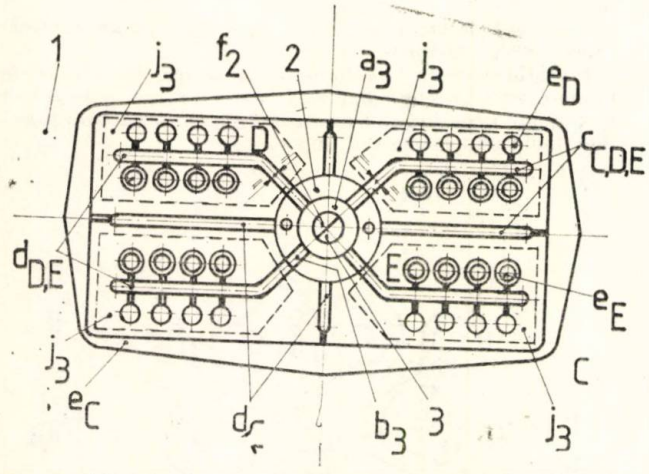


Fig. 3. Schema de recuperare a unor zone active de formare inutilizabile, de la o matriţă de formare prin injectare clasică, modernizată: 1 — placa de formare inferioară, modernizată, de la o matriţă de injecţie clasică, omologată; e_C — locaşul de formare tip C modernizat, la care reţeaua de alimentare clasică (necomutabilă) a fost înlocuită cu o reţea de injectare comutabilă, d_C; e_D şi e_E — cuiburi de formare suplimentare, care sînt alimentate simultan prin intermediul reţelei de injectare d_{DE} comutabilă; j_3 — zonă activă de formare recuperabilă.

Tehnologia de alimentare comutabilă asigură transformarea acestor zone active de formare inutilizabile în zone active de formare recuperabile, datorită flexibilităţii schemelor de lucru, care sînt prevăzute cu distribuitoare centrale de alimentare cu comutare inferioară.

Aşa cum este ilustrat în figura 3, reţeaua de injectare clasică cu alimentare centrală inferioară **C** (indicată în figura 2) a fost transformată într-o reţea de injectare parţială cu comutare centrală inferioară **C**, prin intermediul unui distribuitor central de alimentare cu comutare inferioară.

Reţeaua de injectare generală cu comutare centrală inferioară **C** şi **DE**, conform invenţiei, a permis concepereа, proiectarea, executarea, experimentarea şi omologarea unor locaşuri de formare suplimentare **D** şi **E**, care au fost amplasate în zonele active de formare recuperabile.

Schema de recuperare a zonelor active de formare inutilizabile (aşa cum este ilustrat în figurile 2 şi 3) a permis o revalorificare a matriţelor de formare prin injectare clasică, prevăzute cu zone active de formare nerecuperabile.

În figura 4 se prezintă un exemplu de utilizare a invenţiei la revalorificarea unor matriţe clasice de formare prin injectare indirectă, care sînt prevăzute cu zone active de formare semiutilizabile. Tehnica de injectare comutabilă asigură transformarea acestor zone active de formare semiutilizabile în zone active de formare reutilizabile, datorită flexibilităţii reţelelor de injectare, prevăzute cu distribuitoare centrale de alimentare cu comutare inferioară.

Aşa cum este indicat în figura 5, reţeaua de injectare clasică cu alimentare centrală inferioară **F** (prezentată în figura 4) a fost transformată într-o reţea de injectare parţială cu comutare centrală inferioară **F**, prin intermediul unui distribuitor central de alimentare cu comutare inferioară. În funcţie de particularităţile constructive ale reţelelor de injectare comutabile, distribuitoarele centrale de alimentare se pot executa conform invenţiei, în mai multe variante constructive, după cum urmează:

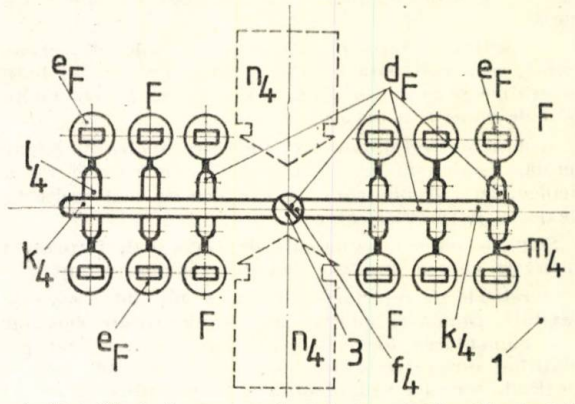


Fig. 4. Matriţă de formare prin injectare indirectă, clasică, prevăzută cu zone active de formare semiutilizabile: 1 — placa de formare inferioară, de la o matriţă de formare prin injectare clasică, prevăzută cu zone active de formare semivalorificabile; d_F — reţeaua de injectare clasică cu alimentare centrală inferioară; k_4 — canalul central de distribuţie inferior, fix; l_4 — canalul lateral de alimentare inferior, fix; m_4 — microcanalul lateral puntiţă de injectare, inferior, fix; n_4 — zona activă de formare centrală, semiutilizabilă (semivalorificabilă, disponibilă).

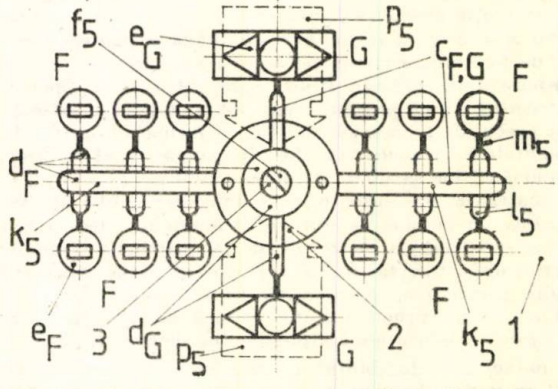


Fig. 5. Schema de reutilizare a suprafeţelor active de formare semivalorificabile, de la o matriţă de injecţie clasică, prevăzută cu o disponibilitate centrală de formare: 1 — placa de formare inferioară, modernizată; e_F — locaşul de formare tip F modernizat, la care reţeaua de alimentare clasică (necomutabilă) a fost înlocuită cu o reţea de injectare comutabilă; e_G — locaşul de piesă suplimentar, central, tip G; p_5 — zona activă de formare centrală reutilizabilă (revalorificabilă).

— distribuitoare prevăzute în zona centrală cu o cavitate centrală de distribuție comutabilă, care comunică simultan cu două pînă la șase microcanale centrale de alimentare comutabile;

— distribuitoare prevăzute în zona centrală cu un nod central de distribuție comutabil, care comunică simultan cu două pînă la șase microcanale centrale de alimentare comutabile.

Rețeaua de injectare generală cu comutare centrală inferioară **F** și **G**, conform invenției, a permis, de asemenea, realizarea unor noi locașuri de formare suplimentare centrale **G**, care au fost amplasate în zonele active de formare reutilizabile (revalorificabile).

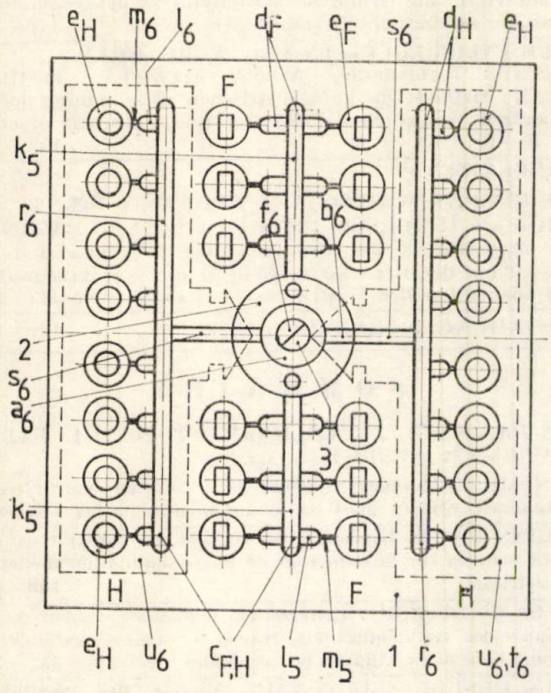


Fig. 6. Schema de reutilizare a suprafețelor active de formare semivalorificabile, de la o matriță de injecție clasică, prevăzută cu o disponibilitate laterală de formare: 1 — placa de formare inferioară, modernizată; r_6 — canalul lateral de distribuție inferior, fix; s_6 — canalul intermediar central de alimentare inferior, fix; e_H — locașul de piesă suplimentar, lateral, tip H; t_6 — zona activă de formare laterală, semiutilizabilă; u_6 — zona activă de formare laterală, reutilizabilă.

Schemele de lucru flexibile ale matrițelor de formare prin injectare comutabilă asigură reutilizarea zonelor active de formare semivalorificabile, care sînt revalorificabile în funcție de gradul de disponibilitate reală de formare a lor în procesul de lucru. În funcție de gradul disponibilității de formare pe care îl prezintă schemele în procesul de lucru, matrițele de formare prin injectare clasică se clasifică astfel:

— matrițe de injecție prevăzute cu o disponibilitate centrală de formare (respectiv cu zone centrale de formare semiutilizabile), așa cum este ilustrat în figurile 4 și 5;

— matrițe de injecție prevăzute cu o disponibilitate laterală de formare (respectiv cu zone laterale de formare semivalorificabile), (fig. 6);

— matrițe de injecție prevăzute cu o disponibilitate centrală și laterală de formare.

În figura 6 se prezintă un exemplu de matriță de injecție clasică, modernizată, la care prin revalorificarea suprafețelor active de formare disponibile, s-au conceput, proiectat, executat, experimentat și omologat niște locașuri de formare suplimentare laterale. Aceste locașuri au fost amplasate în zonele active de formare reutilizabile, laterale.

Invenția permite să se prevadă din proiectare la unele matrițe de formare prin injectare indirectă, nepunctiformă și comutabilă, două sau mai multe pastile sau zone active de formare semifabricate, în care în mod eficient se pot con-

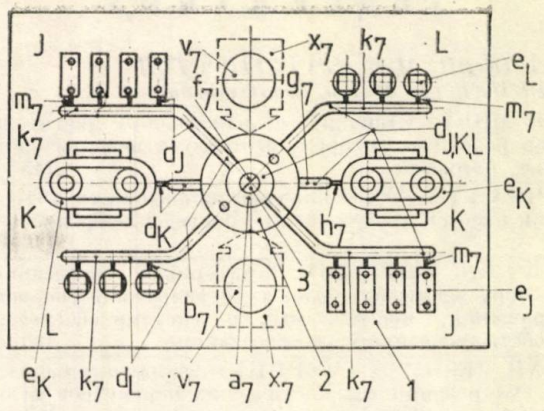


Fig. 7. Matriță de formare prin injectare cu comutare centrală inferioară, care este prevăzută cu pastile de formare semifabricate: v_7 — pastilă de formare semifabricat; x_7 — — zonă activă de formare semifabricat.

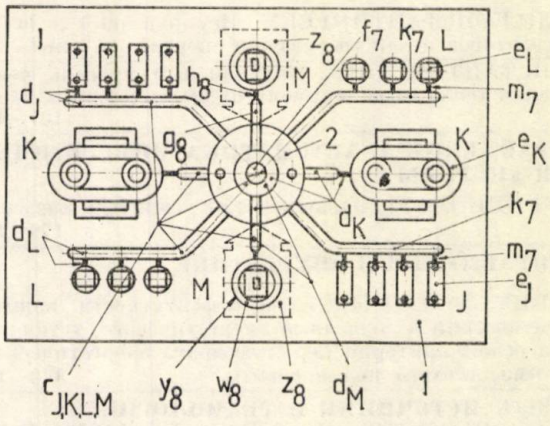


Fig. 8. Matriță de formare prin injectare cu comutare centrală inferioară, reomologată cu locașuri de formare pentru intervenții tehnologice operative: y_8 — pastilă de formare semifabricat prelucrată; z_8 — zonă activă de formare semifabricat prelucrată; w_8 — locașul de formare pentru intervenții tehnologice operative.

cepe, proiecta, executa, experimenta și omologa în cel mai scurt timp posibil din punctul de vedere al SDV-urilor, niște locașuri de formare pentru intervenții tehnologice operative (fig. 7 și 8). Aceste cuiburi de formare operative rezolvă cu rapiditate și eficacitate, din punctul de vedere al SDV-urilor, unele situații tehnice constructive sau tehnologice, apărute în mod accidental în timpul proceselor tehnologice de fabricație.

Prin utilizarea invenției se obțin următoarele avantaje:

— creșterea productivității muncii în atelierele de proiectare și de execuție a matrițelor de injecție multi-tipopies;

— creșterea durabilității matrițelor de injecție multitipo-pies;

— reducerea efortului fizic al presatorilor din cadrul atelierelor de prelucrare a maselor plastice;

— reducerea spațiului de depozitare necesar pentru matrițele de injecție;

— recuperarea, refolosirea și revalorificarea unor matrițe de injecție clasice, prevăzute cu zone active de formare inutilizabile sau semiutilizabile (disponibile);

— utilizarea rațională a oțelurilor aliate pentru scule;

— rentabilizarea utilizării matrițelor de injecție multitipo-pies, în producție de serie mică sau individuală.

Referințe bibliografice

Brevet DE-OS 2.815.698
Brevet DE-AS 1.215.876
Brevete RO-52592; RO-47.499

СОДЕРЖАНИЕ

КОЛЛОКВИУМ И КРУГЛЫЙ СТОЛ — СЭВИНЕШТЬ, 1987 г. (продолжение)

ДАН МИКУ: Стандартные асинхронные двигатели с закороченным ротором, используемые в регулируемых приводах 145—147

ЛУЧИАН РАДУ: Влияние регулирования характеристик насосов на сокращение расходов энергии 148—152

НИКОЛАЕ ОПРИШИУ: Критерии и требования к выбору электроприводов с регулируемой скоростью вращения, используемых в системе обеспечения собственных нужд электростанций 153—156

ИОАН ДЕЗИРЕ СУЧЕВЯНУ: Анализ возможностей регулирования технологических параметров за счет изменения скорости вращения агрегатов 156—160

ДИССКУЦИИ 160—162

ЭНЕРГЕТИКА НА ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

ЖАН КОНСТАНТИНЕСКУ: Иерархизация и выбор масштабов целей сбережения энергии 164—167

КОНСТАНТИН НЯГА: Оптимальный уровень рекуперации тепла газов сгорания от промышленных печей 167—172

УПРАВЛЕНИЕ И АВТОМАТИКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

ИОН НИКОЛАУ: Гидравлический усилитель слежения 173—175

НАПРАВЛЕНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ

ЛИВИУ ЛУП: Определение эффективности капиталовложений в солнечные энергетические установки на основе критерия „срок возврата энергетического займа, взятого под проценты" 176—181

НОВЫЕ ИСТОЧНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ

ВАЛЕРИЯ ПЕТРЕСКУ, АДИНА КОТЫРЦЭ, ТЕОДОР ВИШАН: Калориметрический метод определения тепловой энергии, накопленной в расплавленных системах (в диапазоне температур 373 К — 1073 К) 182—184

НОВОСТИ

ИЗ МИРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ 163, 172, 181

МИРЧА РЭДУЛЕСКУ, ИОН БЭНИКЭ, РАДУ БЭКАНУ: Организация наблюдения за инцидентами и использование опыта эксплуатации на атомных и классических электростанциях во Франции 184—186

ИЗОБРЕТЕНИЯ — НОВАТОРСТВО 187—189

INHALT

DIE ARBEITEN DES KOLLOQUIUMS UND DIE GESPRÄCHE AM RUNDEN TISCH—SĂVINEȘTI 1987 (Fortsetzung)

DAN MICU: Standardisierte Asynchronmotoren mit Kurzschlussläufer in regelbaren Antrieben 145—147

LUCIAN RADU: Die Auswirkungen der Kennwertregelung der Pumpen auf die Herabsetzung des Energieverbrauchs 148—152

NICOLAE OPRIȘIU: Kriterien und Erfordernisse zur Auswahl der Elektroantriebe mit veränderlicher Drehzahl für den Eigendienst der Kraftwerke 153—156

IOAN DESIRÉ SUCEVEANU: Die Analyse der Regelungsmöglichkeiten der technologischen Kennwerte durch die Drehzahländerung der Ausrüstungen 156—160

DISKUSSION 160—162

DIE ENERGIEWIRTSCHAFT IN INDUSTRIEBETRIEBEN

JEAN CONSTANTINESCU: Die Hierarchisierung und Bemessung der Energieerhaltungsobjektive 164—167

CONSTANTIN NEAGA: Die optimale Rückgewinnung der Wärme aus den Brenngasen der Industrieöfen 167—172

DIE LEITUNG UND REGELUNGSTECHNIK DER ENERGIESYSTEME

ION NICOLAU: Hydraulische Uberwachungsverstärker 173—175

ENTWICKLUNGSRICHTUNGEN IN DER ENERGIEWIRTSCHAFT

LIVIU LUP: Bestimmung der Investitionswirksamkeit von Solaranlagen auf Grund des Kriteriums „Rückgewinnungsdauer der energetischen verzinsbaren Anleihe" 176—181

NEUE ENERGIEQUELLEN UND -VERFAHREN

VALERIA PETRESCU, ADINA COTÂRȚĂ, TEODOR VIȘAN: Methode zur kalorimetrischen Bestimmung der in Schmelzen enthaltenen Wärmeenergie (Temperaturgebiet 373 K—1073 K) 182—184

NEUIGKEITEN

DIE ENERGIEWIRTSCHAFT WELTWEIT 163, 172, 181

MIRCEA RĂDULESCU, ION BĂNICĂ, RADU BĂCANU: Die Organisierung der Verfolgung der Ereignisse und die Anwendung der Betriebserfahrung in den Kernkraftwerken und konventionellen Kraftwerken aus Frankreich 184—186

ERFINDUNGEN-NEUERUNGEN 187—189

SOMMAIRE

LES RAPPORTS DU COLLOQUE ET DE LA TABLE RONDE—SĂVINEȘTI 1987 (suite)

DAN MICU: Moteurs asynchrones à rotor en court circuit, standard, utilisés dans les commandes réglables 145—147

LUCIAN RADU: Les effets du réglage des caractéristiques des pompes sur la réduction de la consommation d'énergie électrique 148—152

NICOLAE OPRIȘIU: Critères et demandes concernant le choix des commandes électriques à nombre variable de tours dans les auxiliaires des centrales électriques 153—136

IOAN DESIRÉ SUCEVEANU: Analyse des possibilités de réglage des paramètres technologiques par la variation du nombre de tours des installations 156—160

DISCUSSIONS 160—162

L'ÉNERGIE DANS L'ENTREPRISE

JEAN CONSTANTINESCU: La hiérarchisation et le dimensionnement des objectifs, visant à la préservation de l'énergie 164—167

CONSTANTIN NEAGA: Le degré optimum de récupération de la chaleur résiduelle des gaz de combustion évacués des fours industriels 167—172

CONDUITE ET AUTOMATION DES RÉSEAUX D'ÉNERGIE

ION NICOLAU: Amplificateur hydraulique pour la conduite automatique 173—175

ORIENTATIONS DES POLITIQUES ÉNERGÉTIQUES

LIVIU LUP: Estimation de l'efficience des investissements pour les installations solaires par rapport au critère „Durée de remboursement de l'emprunt d'énergie et de l'intérêt afférent" 176—181

NOUVELLES SOURCES ET TECHNOLOGIES ÉNERGÉTIQUES

VALERIA PETRESCU, ADINA COTÂRȚĂ, TEODOR VIȘAN: Méthode calorimétrique pour déterminer l'énergie thermique stockée dans les systèmes fondus (dans la plage de températures 373 K-1073 K) 182—184

NOUVEAUTÉS

L''ENÉRGETIQUE DANS LE MONDE 163, 172, 181

MIRCEA RĂDULESCU, ION BĂNICĂ, RADU BĂCANU: Organisation de la surveillance des incidents et application de l'expérience en service dans les centrales nucléaires et classiques de France 184—186

INVENTIONS-INNOVATIONS 187—189

CONTENTS

THE PROCEEDINGS OF THE SĂVINEȘTI 1987 WORKSHOP AND ROUND TABLE (continued)

DC 621.313.333: 621.314.5

DAN MICU: Asynchronous Standard Shortcircuit Rotor Motors in Controllable Drives

The possibility to use asynchronous standard currently manufacturated motors in controllable drives fed by static frequency converters operating in the 1:3 rotative speed range are presented.

Calculation nomograms useful for the design of such drives for pumps, fans, etc., depending on the initially required values are indicated.

[Energetica 36 (1988), nr. 4, p. 145—147]

DC 621.67: 66.012.3

LUCAIN RADU: The Influence of Pump Operating Data Adjusting on the Energy Consumption Reduction

The choice of an economic method for adjusting the pump operating data, which may lead in each case to a minimum consumption of energy is a problem of utmost importance.

Starting from the disadvantages presented by the valve ,,adjustment" i.e. a high consumption of energy, the valve wear, as well as the pump wear, if operating for a longer period in partial operating conditions generated by the valve shut-off, the report presents the advantages of adjusting the operating data by modifying the driver speed.

The report also presents other adjusting methods such as the rotor blades adjustment of the axial pumps mounted in plants with high flow variations and negligible load losses as well as the prerotor adjustment of diagonal pumps, mounted in plants with high variations of the pumping head and relatively constant flows. The application of these methods leads to energy savings comparable to those obtained by the speed adjustment.

The report presents a calculation method of the energy savings obtained in representative cases of pump installations. The calculation is based on the pump operating data $Q(H, P)$, the plant operating data $H(Q)$ and the necessary consumption required by the technological process Q(time).

The results are given comparatively for two adjusting methods: the speed variation and the prerotor blades angle variation.

This method may be extended to the adjusting of the axial pumps blades.

[Energetica 36 (1988), nr. 4, p. 148—152]

DC 621.311:621—83

NICOLAE OPRIȘIU: Criteria and Requirements in the Choice of Variable Rotative Speed Electrical Drives in the Eigenservices of Power Plants

The implementation of variable rotative speed electrical drives to the pumps and fans of power plants contributes to energy savings, to the simplification of kinematic drives links and to the increase of dynamic performances during the control process.

The paper presents the main options and requirements for the choice of controllable drives, meant to make them fulfill the technological conditions imposed by the power units operation. Further, the harmonic impact on the current inverter fed synchronous motor operation is presented.

Finally, application examples of the variable frequency drive system at the smooth start-up of large asynchronous motors actuating facilities with high rotative moments are given.

[Energetica 36 (1988), nr. 4, p. 153—156]

DC 621.313: 621.316.718

IOAN DESIRÉ SUCEVEANU: Analysis of Technological Parameters Control Possibilities by Variating the Unit's Rotative Speed

The present situation in the chemical industry of controlling technological parameters by variating the units' rotative speed is presented and the characteristics of some specific consumers are analysed.

The pressure and flow control by rotative speed variation has been achieved by using mechanical pneumatic or electrically driven variators.

Main difficulties and disadvantages of using variable rotative speed values with electrical motors are discussed.

At the same time the possibilites to use frequency converters and their economic efficiency are presented.

The paper is interesting for the intention to prevent operation difficulties from the design stage already.

[Energetica 36 (1988), nr. 4, p. 156—160]

DISCUSSION 160—162

ENERGY IN THE ENTERPRISES

DC 621.3.041.1 : 621.004.4

JEAN CONSTANTINESCU: Energy Conservation Objectives Hierarchization and Dimensioning

The dimensions and priorities of technological updating in order to save energy is determined by comparative solutions analyses based on a technical and economic efficiency crriterion.

Two efficiency criteria are used practically, i.e. the costs and operating of the energy using system during its normal life.

The suitable efficiency criterion choice depending on the nature and endowment of the energy consuming system and mainly on the conservation solution quality constitutes the main problem of the report presented.

[Energetica 36 (1988), nr. 4, p. 164—167]

DC 662.613.5 : 662.99 : 620.97 : 621.365.41/44

CONSTANTIN NEAGA: The Optimal Heat Recovery Degree from the Combustion Gases Discharged from Industrial Furnaces

The paper analyses the determination method for the optimal recovery degree of the residual heat contained in the combustion gases discharged from industrial furnaces. The results obtained are useful in the design and updating of the thermal industrial utilities in order to increase the utilization efficiency of the fuels'chemical energy.

[Energetica 36 (1988), nr. 4, p. 167—172]

ENERGY SYSTEMS CONTROL AND AUTOMATION

DC 621.2.01 : 621.165

ION NICOLAU: Hydraulical Survey Amplifier

The paper presents configuration characteristics, the mathematical model and the numerical simulation elements of the hydraulic survey amplifier equipping the rotative speed governor of the 50 MW steam turbine.

[Energetica 36 (1988), nr. 4, p. 173—175]

TRENDS IN ENERGY POLICY

LIVIU LUP: Solar Facilities Investments Efficiency Study Considering the Criterion ,,Energy Loan Interest Refund Duration"

The paper presents a new economic efficiency criterion:" ,,energy loan interest refund duration" which enables to outline the investments'efficiency considered mainly from the point of view of the energy, raw materials and investment and operation materials consumptions and savings.

[Energetica 36 (1988), nr. 4, p. 176—181]

NEW ENERGY SOURCES AND TECHNOLOGIES

DC 621.1.01 : 662.995

VALERIA PETRESCU, ADINA COTÂRȚĂ, TEODOR VIȘAN: Calorimetric Method for the Determination of the Thermal Energy Stored in Smeltings (Temperature Range: 373 K — 1073 K)

A rapid and cheap method for estimating the latent and sensible heat within molten systems is proposed. The method uses the cooling diagrams and calorimetric measurements in the cooling water (input-output temperature, flow). These data are useful in the design of thermal storage systems inside smeltings.

[Energetica 36 (1988), nr. 4, p. 182—184]

NEWS

ENERGY WORLDWIDE 163, 172, 181

MIRCEA RĂDULESCU, ION BĂNICĂ, RADU BĂCANU: Organizing the Incidents Survey and Applying the Operation Experience With Nuclear and Classical Power Plants in France 184—186

INVENTIONS-INNOVATIONS 187—189

COLEGIUL DE REDACȚIE

Redactor responsabil: **dr. ing. Eugeniu Pavel**
Redactori responsabili adjuncți: **dr. ing. Mihai G. M. Pop, dr. ing. Gheorghe Bălan, ing. Radu Opincaru**
Secretar de redacție: **dr. ing. Theodor Popa**
Gestiune financiară: **ec. Monica Livezeanu**

Orientări în energetică: **dr. ing. Mario Duma**
Energetica în unități economice: **ing. Ion Măiereanu, ing. Alexandru Floreseu**

Dezvoltarea sistemelor energetice: **dr. ing. Nicolae Armeneoiu, dr. ing. George Manolescu**

Conducerea și automatica SE: **dr. ing. Victor Romert, dr. ing. Jean Constantinescu**

Centrale termoelectrice: **conf. dr. ing. Costin Moțoiu, ing. Romeo Zbarcea**
Centrale hidroelectrice: **dr. ing. Gheorghe Luca**

Centrale nuclearoelectrice: **ing. Adrian Georgescu, prof. dr. ing. Nicolae Dănilă, ing. Mircea Tarța**
Rețele electrice: **ing. Dinu Voinea, ing. Nicolae Georgian**
Alimentarea cu căldură: **ing. Nicolae Niculescu**
Surse și tehnologii noi: **ing. Constantin Popescu**
Tehnologii chimice în energetcă. Poluare: **dr. chim. Maria Maftei**

Organizarea producției și a muncii: **ing. Miron Popescu**
Terminologie energetică: **dr. ing. Iosif Cserveny**
Istoria electrificării: **ing. Paul Cartianu**
Noutăți: **ing. Mihai Nistor, ing. Romulus Sfichi**

Centre universitare și industriale:
București: **conf. dr. ing. Alexandru Selischi**
Iași: **prof. dr. ing. Alexandru Poeată**
Timișoara: **prof. dr. ing. Viorel Negru**
Cluj: **conf. dr. Silviu Darie**

Acest număr a fost realizat cu concursul următorilor secretari ai grupelor de specialitate:

— **ing. Angela Perea** — Energetica în unități economice
— **ec. Florin Popovici** — Orientări în energetică
— **dr. ing. Marius Pomârleanu** — Conducerea și automatica sistemului energetic
— **ing. Ion Turcu** — Surse și tehnologii noi

Revista „ENERGETICA" este editată și administrată de Institutul de Cercetări și Modernizări Energetice prin Oficiul de Informare Documentară pentru Energetică.
Vasile Pleșca — șef OIDE, **Ana Maria Chivu** — redactor.

Revista „ENERGETICA" — publicație lunară, reflectă preocupările spirituale și realizările materiale în domeniul energeticii. Funcționează în conformitate cu *ROF* aprobat cu Ordinul nr. 651/1984 publicat în nr. 4/87 al revistei.

Elaboratorii de lucrări produse spre publicare sînt rugați să consulte *„Îndrumările pentru întocmirea și prezentarea lucrărilor propuse a fi publicate în revista Energetica"* și *„Ghidul pentru avizarea lucrărilor propuse a fi publicate în revista Energetica"* apărute în nr. 12/1986, precum și *„Planul tematic al revistei Energetica"* pe anii 1987-1990 apărut în nr. 5/1987.

Instituțiile pot achita abonamentele în contul de virament nr. 30.11.8.01.01. — BN R.S.R. Fil. Sector 3. Costul unui abonament: 144 lei anual; costul unui exemplar 12 lei.

Redacția și administrația: București 79619, Bd. Energeticienilor nr.8, sect. 3
Telefon: 20.67.30, 21.46.30

ANNOUNCEMENTS FOR READERS ABROAD

- **The review "Energetica" can send on request from publications abroad reports translated in one of the worldwide spoken languages**
- **The review "Energetica" proposes a publication exchange with similar reviews and in relating fields**
- **The review "Energetica" provides and publishes or introduces books on energy received at the editorial office. Reviews and presentations of books sent on this purpose to the editorial office can be published as well**
- **The review "Energetica" publishes on request from authors abroad reports of energy or other materials: technical and scientific news, inventions-innovations, information about technical and scientific symposia, etc. written in one of the worldwide spoken languages**
- **Readers from abroad can subscribe through: ROMPRESFILATELIA — sectorul import-export, P.O. Box 12—201, telex 10376 prsfir, Calea Griviței nr. 64—66, București — România.**

Tiparul: Întreprinderea Poligrafică „Informația", București, str. Brezoianu 23—25 c. 2105

INFORMÁCIÓS KÖNYVTÁR 1983

ROMELECTRO

Foreign Trade Company

60 Calea Dorobantilor

Bucharest - Romania
POBox : 1-736
Telex : 10449 roel r

Cable : Romelectro Bucharest
Telephones : 112170 ; 119170

Romelectro Foreign Trade Company carries out services in the power field ranging from studies and designs up to projects commissioning.

EXPORTS :

- extra high, high, medium and low voltage electric lines ;
- transformer and distribution substations and points ;
- rural electrification ;
- towers and fittings for the extra high, high, medium and low voltage overhead electric lines ;
- erection and construction works abroad of power projects for thermal and hydropower stations, dams, hydrotechnical developments, cooling towers, high chimneys, etc.
- specific apparata for construction, erection and operation, equipment and spare parts for the power field ;
- auxiliary installation for electric power stations ;
- licences, feasibility reports, studies, designs, engineering, technical assistance, experts reports in the power field ;
- trolley-bus city transport ;
- general foreign supplier for construction-erection jobs carried out abroad ;
- transit of electric power ;
- training of foreign staff

IMPORTS :

- complex power installations and equipment for thermo and hydropower generating plants ;
- specific equipment and components for the power field, relevant spare parts included ;
- equipment, apparata and materials for the erection of high, medium and low voltage lines and for turn-key deliveries.

I.S.P.H.

INSTITUTUL DE STUDII ŞI PROIECTĂRI HIDROENERGETICE

29, Republicii Blvd., 79669 Bucharest,
Romania,
Phone 147270, Telex 11 443 i.s.p.h. r.

1989 MAR 0 2

ISPH-Designing Institute with complex profile offers :

SPECIAL ACTIVITIES

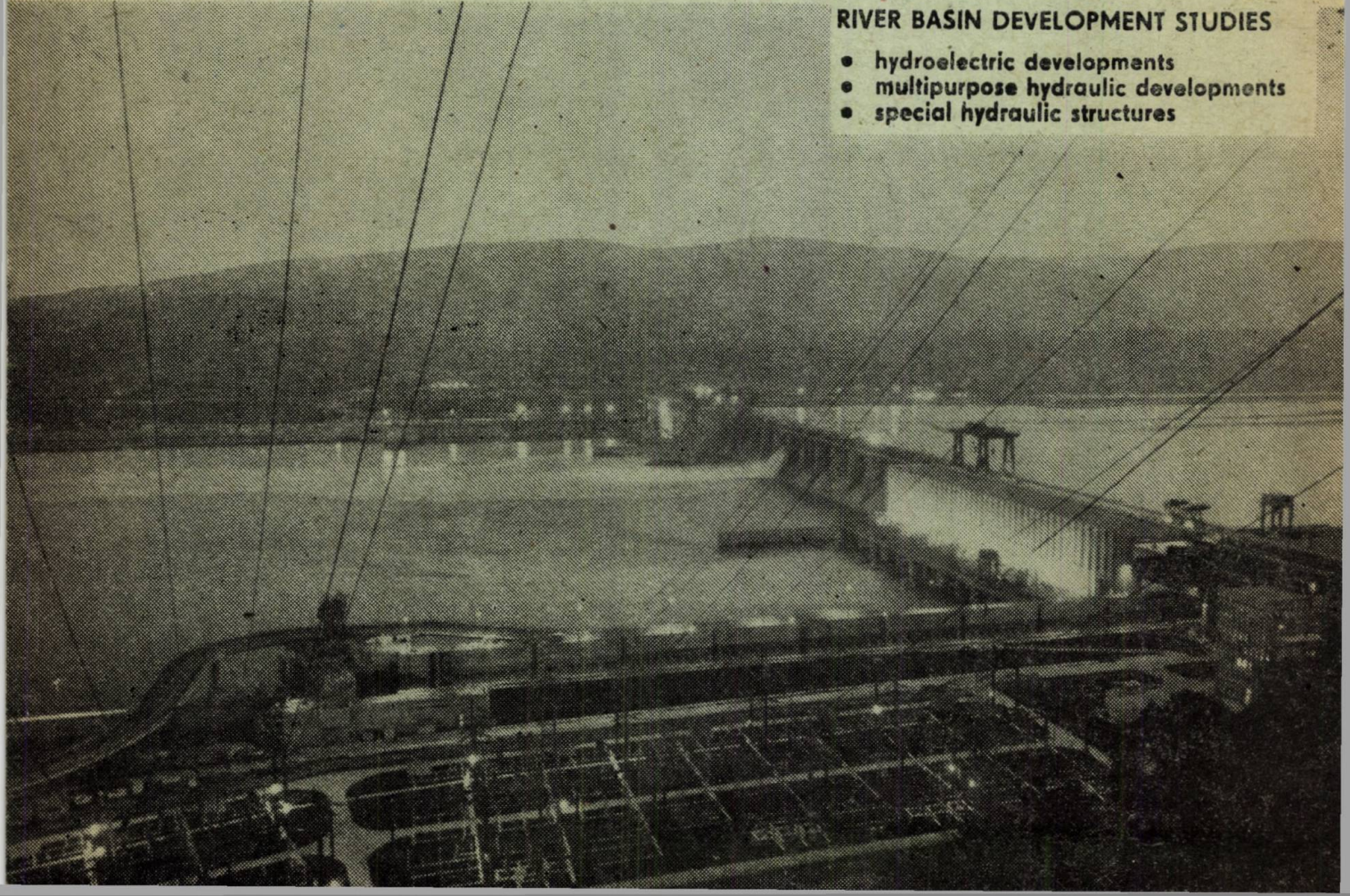
- hydrological and hydrogeological studies
- engineering-geological investigations
- geotechnical and geophysical explorations, soil and rock mechanic investigations
- topographical surveys and mapping

SPECIAL SERVICES

- preliminary studies and designs
- feasibility studies
- final designs
- detailed construction drawings
- tender documents and contracts
- inspection and supervision
- expert's reports

RIVER BASIN DEVELOPMENT STUDIES

- hydroelectric developments
- multipurpose hydraulic developments
- special hydraulic structures



E 2039
Referálva
ETE
R 1988 NOV 01

MW 5

Cuprins

ENERGETICA ÎN UNITĂŢI ECONOMICE

CONSTANTIN NOREL CRISTEA, DAN OHLGIESSER, ANTON POSLĂNESCU: **Sistem ierarhizat de supraveghere a sistemelor energetice industriale** 193

ATTILA GALFI, ALEXANDRU HORVATH, LAJOS LOSONCZI, LASZLO PATAKFALVI: **Sistem de supraveghere a consumului de energie electrică** 196

CONDUCEREA ŞI AUTOMATICA SISTEMELOR ENERGETICE

SEBASTIAN IONESCU, MARIOARA ITOAFĂ: **Analiza stabilităţii sistemelor energetice la mici perturbaţii pe baza valorilor proprii ale matricii de stare** 201

CENTRALE TERMOELECTRICE

MIRCEA CIOBANU, PERSIDA IANCOVICI, MANFRED STEIN: **Analiza din punctul de vedere al fiabilităţii — mijloc eficient pentru stabilirea priorităţilor în măsurile de creştere a siguranţei în funcţionare a instalaţiilor energetice** 213

REŢELE ELECTRICE

SORIN MUNTEANU, GLEB DRĂGAN, IOAN LUNGU, LIVIU DRĂGAN: **Calculul supratensiunilor atmosferice la căderea trăsnetului pe conductorul de protecţie cu considerarea descărcării corona de impuls** 217

MIRCEA GUŞĂ, NICOLAE GAVRILAŞ: **Perfecţionarea construcţiei regulatorului automat pentru bobine de stingere** 221

SURSE ŞI TEHNOLOGII NOI

ION BERINDAN, TIBERIU MOLNAR, REKA KOVACS-DOBOLYI: **Consideraţii privind gazeificarea lemnului de răchită în vederea obţinerii gazului de sinteză** 226

ISTORIA ELECTRIFICĂRII

OVIDIU ŢUŢUIANU: **Termocentrala Grozăveşti-Bucureşti a depăşit 75 de ani de existenţă** 230

NOUTĂŢI

DIN ENERGETICA MONDIALĂ 212,216

CRONICĂ

EMIL LUCA, GEORGE MANOLESCU: **Reuniunea Comitetului pentru Energie Electrică din cadrul Comisiei Economice a ONU pentru Europa** 235

RECENZIE 237

VOLUMUL XXXVI
BUCUREŞTI
MAI 1988

energetica

ISPE

MINISTERUL ENERGIEI ELECTRICE
INSTITUTUL DE STUDII SI PROIECTĂRI ENERGETICE
ROMANIA, 72301 Bucureşti, sector 2, Bdul Lacul Tei nr.1
Telegrame : ISPE-Bucureşti, telex : 10978 ispe r, telefon : 107080

The Institute for Power Studies and Designs, the specialized body of the Ministry of Electric Energy, carries out studies and designs required for the development and for the economic and safety operation of the national power system.

It co-operates with foreign companies and organizations for specialized works and gives, on demand, all kind of engineering assistance in the power field and :

. draws up technical and final designs for thermal power plants, combined heat and power plants and thermal plants, substations and transformer posts, transmission electric lines

. carries out studies concerning power development and feasibility studies for power projects

. draws up current and long-term electrification plans for countries, regions and towns

. designs heat networks for urban and industrial purposes

. elaborates studies for establishing the power regime and safety operation

. elaborates methodologies and programmes concerning the planning and operation of the power system

. grants technical assistance in the field of analysis and programming.

ENERGETICA

ORGAN AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE ȘI AL CONSILIULUI NAȚIONAL AL INGINERILOR ȘI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

SUB ÎNDRUMAREA CONSILIULUI ȘTIINȚIFIC AL INSTITUTULUI CENTRAL DE CERCETĂRI ENERGETICE

ANUL 36 Nr. 5 Mai 1988

Sistem ierarhizat de supraveghere a sistemelor energetice industriale

Ing. Constantin Norel Cristea, ing. Dan Ohlgiesser, ing. Anton Poslănescu *

Descriptori: sistem informatic, energetică industrială, eficiență economică

Generalități

Criza energetică mondială apărută în deceniul 7 a atras atenția asupra unui aspect al vieții economice neglijat aproape în totalitate: necesitatea economisirii energiei. Deși această problemă ține de politica economică internă a fiecărei țări, preocuparea de optimizare a proceselor tehnologice și minimizarea consumurilor energetice industriale devine o îndatorire a fiecărei întreprinderi.

Preocupările colectivului de cercetători de la Institutul de Cercetare Științifică și Inginerie Tehnologică pentru Industria Electrotehnică — București în această direcție au fost îndreptate și spre realizarea unor sisteme informatice orientate pe energetica industrială, care să dea informații rapide și complete despre consumurile de resurse energetice (electrice și neelectrice) la niveluri cît mai coborîte, mergînd pînă la nivelul instalațiilor tehnologice.

Supravegherea centralizată oferă operatorilor, precum și factorilor de decizie, posibilitatea de a lua măsuri pertinente pentru creșterea randamentelor energetice, optimizări energotehnologice, precum și distribuirea în timp a consumatorilor energetici la nivelul întreprinderii.

Unul din obiectivele de bază urmărite în rezolvarea acestor probleme este rezolvarea rapidă și sintetică a datelor de maximă importanță referitoare la funcționarea sistemului energetic uzinal.

În prezent, evoluția rapidă a tehnicii de calcul și a conceptelor de tratare a sistemelor a permis încercarea și implementarea mai multor generații de sisteme de supraveghere și control al sistemelor energetice industriale care urmăresc, în principal, preluarea funcției de supraveghere de către unul sau mai multe sisteme de calcul, în dauna echipamentelor clasice de supraveghere și control.

Această manieră de abordare a problemei permite o distribuție teritorială, atît fizică, cît și a funcției de supraveghere, pe niveluri ierarhizate.

Lucrarea prezintă realizarea unui sistem cu caracter general modular, versatil, ușor configurabil, hardware și software, pentru aplicații la nivel de întreprinderi mijlocii și mari. Sistemul oferă utilizatorului extinderea funcției de supraveghere și control, prin implementarea unor funcții suplimentare de comandă, a căror utilizare este ușurată de existența unui ghid operator cu calități de sistem expert.

1. Descrierea sistemului

Sistemul a fost conceput ierarhizat pe trei niveluri cu posibilități de comunicare, pînă în prezent, numai pe verticală. Nivelul ierarhic inferior este constituit de sistemul de anchiziție al datelor primare din proces. Configurația acestui nivel este variabilă în anumite limite, funcție de structura și distribuția în cîmp a sistemului energetic supra-

* Ing. Constantin Norel Cristea, ing. Dan Ohlgiesser, ing. Anton Poslănescu — Institutul de Cercetare Științifică și Inginerie Tehnologică pentru Industria Electrotehnică.

vegheat. În principal pe acest nivel sînt plasate traductoarele electronice standard (cu semnal unificat de curent 4—20 mA) de mărimi electrice (curent, tensiune, putere activă) și neelectrice (presiune relativă și diferențială, temperatură), împreună cu concentratoarele de date. Stabilirea punctelor de măsură, precum și a traductoarelor adecvate este rezultatul analizei de sistem făcută în colaborare cu specialiștii energetici ai întreprinderii beneficiare.

Nivelul ierarhic secund cuprinde mai multe microsisteme de calcul (maximum 32, funcție de amploarea sistemului energetic), cu rolul de a preleva datele din proces la intervale de timp prestabilite, inițierea prelucrărilor primare a informațiilor achiziționate din proces (testarea încadrării între limite, conversia în unități tehnice, calculul anumitor mărimi derivate, împachetarea datelor pentru transmisie) și disputarea accesului la nivelul ierarhic superior prin magistrala serială RS 232C.

Pe acest nivel se pot implementa, la cerere, funcții simple de supraveghere locală. Aceste funcții permit preluarea controlului local al zonei supravegheate de către un operator, lucrînd la o consolă, în cazul invalidării legăturii cu nivel ierarhic superior.

Nivelul ierarhic superior cuprinde unul sau mai multe minisisteme de calcul de proces, interconectabile. La acest nivel se realizează întreaga gamă de funcții de supraveghere, control, gestiune, optimizare și conducere a proceselor de sistem. De semenea, nivelul ierarhic superior își asumă rolul de MASTER în cadrul protocolului de comunicație cu nivelul ierarhic subordonat.

În concepția întregului sistem s-a avut în vedere principiul modularității, al cărui avantaj net este evident în realizarea rapidă a aplicațiilor și depanarea ușoară în caz de avarie.

Modularitatea a fost avută în vedere atît în concepția hardware a echipamentelor, cît și în realizarea software-ului, atît la nivelul micro, cît și la cel al minisistemelor de calcul. Această structură ușurează munca de generare a unei aplicații, precum și depanarea și testarea întregului sistem la punerea în funcțiune.

2. Funcțiile sistemului

Sistemul de supraveghere și comandă este conceput să lucreze în timp real, asigurînd o viteză adecvată de tratare a datelor achiziționate din proces. Tratarea datelor este făcută în două moduri : sincron și asincron.

Evenimentele sincrone sînt cele eșantionate la momente de timp prestabilite, fiind rezultatul unei funcționări în regim normal a sistemului energetic. Evenimentele asincrone sînt cele care fac parte fie din categoria depășirii de limite a datelor de intrare, funcționare defectuoasă a unor traductoare, fie reconfigurări ale sistemului prin comutări realizate de echipamentele energotehnologice. Aceste evenimente asincrone sînt tratate cu prioritate, de-a lungul întregului lanț de comunicație, beneficiind de o tratare specială la nivelul ierarhic superior.

Apariția unui anumit tip de eveniment este însoțită de un meniu de comenzi accesibile operatorului, care-i oferă posibilitatea unor decizii rapide și corecte, în timp real.

Pe microsistemele de calcul există implementat un sistem de operare în timp real, care asigură o bună gestionare a resurselor hardware și software, permițînd realizarea următoarelor funcții : tratarea întreruperilor generate de evenimentele asincrone, așteptări la semafor, așteptări pe condiții de timp prestabilite, operații de intrare-ieșire la consola locală, comunicații cu nivel ierarhic superior.

Funcția de comunicație este realizată de un protocol de comunicație standard adaptat.

Pachetul de programe implementat pe minisistemul de calcul realizează următoarele funcții primare : participarea la protocolul de comunicație, calculează valori derivate la ciclul minim de scanare și activează rutina de integrări orare pentru obținerea valorilor pe intervalele de timp prestabilite, gestionează baza de date pentru proces a sistemului informatic.

Valorile scanate, precum și rezultatele parțiale ale integrărilor sînt încărcate într-o zonă de common rezident, definită într-o partiție de common a unui sistem de operare reconfigurat conform necesităților aplicației, zonă la care au acces atît taskurile componente ale softului de bază, cît și cele din alcătuirea consolei operatorului de proces.

Același pachet de programe realizează și următoarele funcții complexe : redactează protocoale de alarmare, însoțite la cerere de un ghid operator, pentru tratarea situațiilor anor-

male în funcționarea sistemului energetic supravegheat, realizează gestiunea datelor calculate pe intervale caracteristice (oră, schimb, zi) prin accesarea și exploatarea unor fișiere definite pe disc. Fișierele, în acces direct, au asociate înregistrări logice în baza de date specifice aplicației, permițînd un acces rapid, prin rutine specializate, la informațiile stocate.

Taskurile componente ale softului de bază ale sistemului de supraveghere energetică, se constituie într-un executiv de timp real, prin utilizarea rutinelor de monitor ale sistemului de operare implementat pe minisistemele de calcul (sincronizarea proceselor prin utilizarea flagurilor globale, comunicări de mesaje între taskuri, definiri de evenimente semnificative și de cozi de așteptare).

În plus, pe minisistemele de calcul este implementat un al doilea pachet de programe care realizează funcții specifice consolei operatorului de proces, programe care rulează în timp real, la cerere.

Acest pachet de programe realizează următoarele funcții: afișarea schemelor monofilare de distribuție pentru sistemul de alimentare cu energie electrică, cu actualizarea stării întreruptoarelor și prezentarea valorilor instantanee, valori care se actualizează la nivelul ciclului minim de scanare, reprezentarea pe display prin utilizarea bargrafurilor, a situației generale a parametrilor urmăriți, reprezentați pe grupe funcționale, cu urmărirea încadrării parametrilor în limitele prestabilite, trasarea de caracteristici grafice ale sarcinii pentru urmărirea istoricului unui parametru pe o perioadă de timp indicată de operator, obținerea de rapoarte, grafice, histograme, la cerere, atît pe ecran, cît și pe imprimanta grafică.

3. Generarea aplicației

Pentru realizarea unei aplicații este necesară parcurgerea anumitor etape: analiza sistemului energetic pe conturul unității industriale vizate, particularizarea aplicației cu un generator specializat, testarea și implementarea.

Analiza de sistem, presupune stabilirea punctelor de măsură avute în vedere de beneficiar, precum și specificația funcțională care stă la baza fazelor ulterioare. Analiza de sistem se realizează prin proceduri predefinite și se concretizează în stabilirea elementelor componente ale bazei de date pentru proces, cuprinzînd și informațiile privitoare la repartizarea pe zone fizice în care sînt implantate microsistemele de calcul de pe nivelul secund. Pe cît posibil, aceste zone se suprapun pe zonele de maximă încărcare energetică. Datele acestei analize constituie sursa pentru realizarea grafului de prelucrări.

Toate aceste informații sînt reunite în baza de date din care, cu ajutorul generatorului de aplicație, se va particulariza pe cazul concret. Baza de date este constituită din două componente, corespunzătoare celor două niveluri ierarhice superioare. Pentru fiecare din aceste componente există cîte un generator separat, care, pe baza informațiilor din baza de date, produce programe obiect pentru fiecare din componentele sistemului, pe baza modulelor program aflate în biblioteca generatorului, realizînd și o analiză sintactică a descrierii aplicației.

Testarea programelor rezultate se face pentru fiecare component al nivelurilor 2 și 3 separat, după care se testează aplicația în ansamblu.

4. Performanțe

În ICPE a fost realizată o aplicație pilot care cuprinde două microsisteme de calcul ECAROM pe nivelul ierarhic secund și un minisistem de calcul CORAL, pe nivelul ierarhic superior.

In urma exploatării acestei instalații pilot, au rezultat următoarele observații: fiabilitate corespunzătoare a întregului sistem, rapiditatea cu care pot fi obținute informații referitoare la funcționarea sistemului energetic în oricare din punctele supravegheate, semnalizarea într-o formă accesibilă a evenimentelor din proces.

Observarea pe o durată mai lungă a sistemului energetic industrial a permis luarea unor măsuri de aplatisare a curbei de sarcină și de încadrare a consumatorilor în cotele de consum prestabilite, precum și luarea unor măsuri de optimizare energotehnologică.

Concluzii

Implementarea unui astfel de sistem de supraveghere și control ale sistemului energetic industrial are ca rezultat imediat o analiză corectă a proceselor energetice, cunoașterea rapidă și în amănunțime a evenimentelor din întregul sistem energetic urmărit, creșterea siguranței în funcționare prin evitarea unor

defecte generate de erori umane și creșterea disponibilității sistemului energetic industrial prin supravegherea sa cu un instrument flexibil și versatil.

Concluziile rezultate prin analiza pe o durată îndelungată a funcționării sistemului vor fi reunite în viitor într-un sistem expert, care va constitui o etapă evolutivă a prezentului ghid operator, care, deși este un instrument util, nu înlătură subiectivismul operatorului în luarea deciziilor.

Faptul că protocoalele de comunicație folosite în acest sistem expert sînt adaptate după standarde cu largă acceptare, permite într-o etapă viitoare, integrarea acestui sistem de supraveghere-conducere ale proceselor energetice în sistemul informatic al întregii întreprinderi, participînd la conducerea operativă a producției.

(Primit la 30 septembrie 1987, acceptat la 4 ianuarie 1988)

Sistem de supraveghere a consumului de energie electrică

Ing. Attila Galfi, mat. Alexandru Horvath, ing. Lajos Losonczi, ing. Laszlo Patakfalvi *

Descriptori: echipament de control și prelucrare, consum de energie electrică

Considerații generale

În funcție de performanțele tehnice ale utilajelor, de tehnologiile aplicate, o întreprindere poate realiza consumuri specifice de energie care să se situeze la cote performante sau, dimpotrivă, la valori necompetitive. De aceea, în țara noastră consumurile energetice sînt supuse unui sistem de gestiune mai mult sau mai puțin riguros.

Operațiile efectuate în prezent de zeci de specialiști din întreprinderi în vederea gestionării consumului de putere și energie pot fi făcute de un echipament electronic modern, cu microprocesor, care permite intervenții instantanee pentru oprirea consumului excesiv și a risipei de energie. Acest echipament poate să urmărească concomitent atît puterea absorbită, cît și energia consumată și poate să țină și evidența întreruperilor de energie.

1. Descriere și funcționare

Sistemul de supraveghere a consumului de energie electrică are următoarea structură:

— contoare de energie electrică cu traductor de impulsuri;
— microsistem de calcul;
— bloc de interfață cu consumatorii;
— bloc de alimentare;
— periferii.

Folosind tehnica de măsurări prin impulsuri, echipamentul necesită contoare de energie electrică cu traductor de impulsuri, care convertesc energia consumată în impulsuri, numărul acestora fiind proporțional cu energia consumată, iar frecvența lor proporțională cu puterea absorbită. Aceste impulsuri trebuie preluate și prelucrate de un microsistem de calcul bazat pe microprocesor, care conține, pe lîngă unitatea centrală de prelucrare, și blocul de memorie și interfețele necesare comunicării cu perifericele. Aceste interfețe sînt următoarele:

— interfață cu monitorul TV;
— interfață cu tastatura;
— interfață cu miniimprimanta;
— interfață cu unitatea de casetă magnetică.

Legătura între microsistemul de calcul și contoare se realizează cu ajutorul blocului de interfață cu consumatorii supravegheați, care preia impulsurile furnizate de contoare și le transformă în impulsuri necesare microsistemului de calcul. Tot cu ajutorul acestui bloc este avertizat operatorul de existența unor situații energetice limită.

Echipamentul electronic necesită un bloc de alimentare, care furnizează tensiunile de alimentare.

Pentru a rezolva problemele ridicate de gestionarea energiei electrice, este necesară comunicarea sistemului cu următoarele periferice:

a) tastatura prin care operatorul va comunica cu echipamentul;
b) monitorul TV, cu ajutorul căruia se afișează informația;
c) miniimprimanta, care permite listarea situațiilor energetice;
d) unitatea de casetă magnetică, care permite arhivarea și înmagazinarea datelor pentru prelucrările ulterioare.

Funcționarea echipamentului electronic este următoarea: impulsurile provenite de la contoare — după ce au fost transformate în impulsuri TTL — intră într-un bloc de numărătoare cu două niveluri. La primul nivel se face o divizare în așa fel încît la ieșire un impuls să

* Ing. Attila Galfi, mat. Alexandru Horvath, ing. Lajos Losonczi, ing. Laszlo Patakfalvi — Institutul de Cercetare Științifică și Inginerie Tehnologică pentru Industria Electrotehnică — filiala Tîrgu-Mureș

corespundă unui kWh, iar la al doilea nivel se face o contorizare a impulsurilor. Numărul acestor impulsuri reflectă în orice moment consumul actual.

Conținutul acestor numărătoare se citește de către unitatea centrală de prelucrare și se prelucrează în vederea obținerii situațiilor energetice dorite. Cu ajutorul tastaturii se dau comenzile, iar pe ecranul televizorului se afișează graficele și tabelele energetice.

Miniimprimanta permite ca în orice moment să se tipărească pe hîrtie situații energetice, iar unitatea de casetă magnetică înmagazinează datele în vederea prelucrărilor ulterioare.

1.1. Descrierea blocurilor componente

1.1.1. Microsistem de calcul

În vederea soluționării tuturor problemelor ridicate de gestionarea energiei electrice, microsistemul de calcul cuprinde mai multe module-blocuri funcționale.

1.1.1.1. Unitatea centrală de prelucrare (fig. 1) face toate operațiile aritmetice și logice. Ea se bazează pe un microprocesor și conține amplificatoare atît pentru magistralele de date,

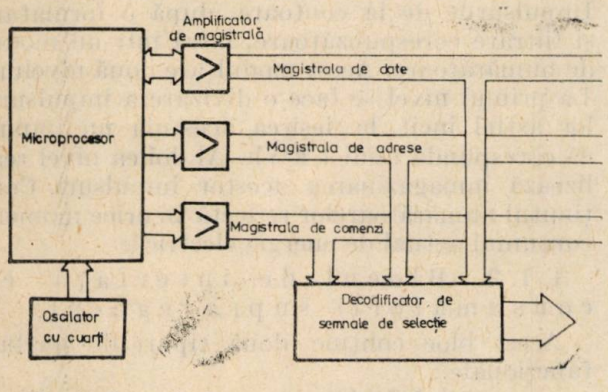


Fig. 1. Schemă bloc — unitate centrală de prelucrare.

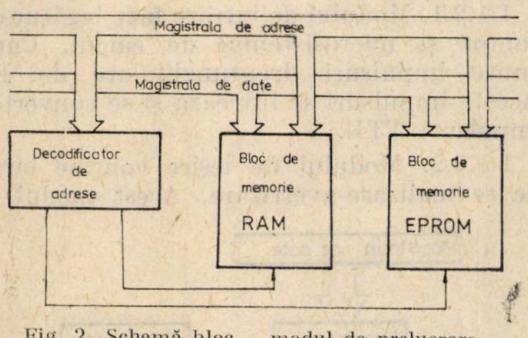


Fig. 2. Schemă bloc — modul de prelucrare.

cît și pentru magistralele de adresă. Unitatea centrală de prelucrare furnizează toate semnalele necesare funcționării corecte a celorlalte module (memorie, interfețe).

1.1.1.2. Modulul de memorie (fig. 2) conține atît partea de memorie RAM, cît și partea de memorie EPROM. În memorii EPROM se memorează programele, iar datele care urmează să fie prelucrate sau care au rezultat în urma prelucrărilor vor fi înmagazinate în blocul de memorie RAM. Modulul de memorie se conectează la unitatea centrală de prelucrare prin intermediul magistralelor de date și adrese.

1.1.1.3. Interfața cu tastatura. Echipamentul lucrează sub controlul unui operator (prin „operator" înțelegînd persoana care supraveghează și dirijează activitățile realizate de echipament). În acest mod tastatura reprezintă mijlocul prin care operatorul îi comunică echipamentului toate informațiile necesare pentru ca acesta să evolueze în modul dorit de el. Pentru satisfacerea tuturor cerințelor de comunicare dintre operator și echipament este suficientă o tastatură formată din numai 16 taste. Această tastatură minimală are următoarea componență :

a) zece taste numerice (adică cifrele de la 0 la 9);
b) patru taste funcționale;
c) o tastă pentru validarea selecției făcute pe baza meniului afișat;
d) o tastă pentru declanșarea întreruperilor, în vederea trecerii la o nouă activitate.

Atunci cînd unitatea centrală de prelucrare interoghează tastatura, interfața furnizează pe magistrala de date un octet care reprezintă codul tastei apăsate.

1.1.1.4. Interfața cu monitorul TV (fig. 3) permite cuplarea la microsistemul de calcul a monitorului TV. În loc de monitor poate fi utilizat și un televizor obișnuit, adaptat. Avînd în vedere remanența tubului cinescop, precum și inerția ochiului uman, se poate obține o imagine stabilă și clară dacă se afișează numai un semicadru. Numărul punctelor elementare afișate este de 512×256. Alegînd pentru structura unui caracter configurația de 8×16 puncte se vor afișa 16 rînduri a 64 caractere. Pentru a realiza toate cele enunțate mai sus, va fi nevoie de 1 kRAM memorie proprie interfeței TV.

Interfața cu monitorul TV generează semnale de sincronizare orizontală și verticală, însumate printr-un mixer video. Ieșirea mixerului se leagă la intrarea sincroprocesorului televizorului.

Informația care trebuie reprezentată este paralelă. Interfața TV asigură o transformare paralel-serie. Această informație intră într-un etaj final video, care comandă blocul final video din televizor.

Pentru afișarea diferitelor caractere este nevoie de un generator de caractere. Acest generator de caractere este înscris într-o memorie EPROM.

1.1.1.5. Interfața cu miniimprimanta face legătura între unitatea centrală de prelucrare și miniimprimantă. Informația care urmează să fie reprezentată este paralelă, deci interfața

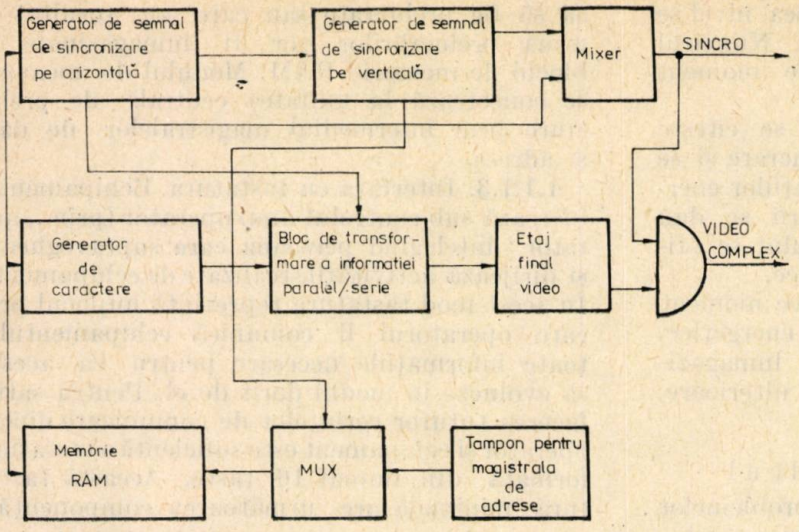


Fig. 3. Schemă bloc — interfață cu monitor TV.

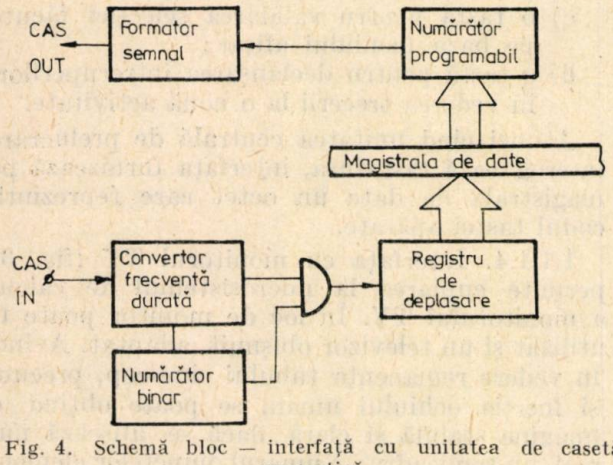


Fig. 4. Schemă bloc — interfață cu unitatea de casetă magnetică.

va trimite informația primită de la unitatea centrală de prelucrare fără modificare. Pentru a obține o scriere rapidă este nevoie de utilizarea metodei „hand shake". Microsistemul interoghează starea imprimantei, prin testarea semnalului de „imprimantă ocupată". În momentul în care imprimanta este gata să recepționeze o nouă informație, activează această linie de semnal, iar microsistemul răspunde prin încărcarea interfeței paralele cu un nou octet de date și trimiterea semnalului de „strobare" către miniimprimantă. Ciclul se repetă pînă la terminarea listării.

1.1.1.6. Interfața cu unitatea de casetă magnetică (fig. 4) leagă unitatea centrală de prelucrare și unitatea de casetă magnetică și se compune din partea de intrare și cea de ieșire. Partea de intrare realizează conversia analog — digitală. Pe bandă magnetică se înregistrează un semnal analogic care trebuie transformat în semnal digital. După o transformare serie-paralelă informația se trimite către unitatea centrală de prelucrare prin magistrala de date. Partea de ieșire a interfeței trebuie să facă o conversie paralel-serie, iar acest semnal trebuie transformat în semnal analogic de circa 200 mV. Informația sosește către interfață tot prin intermediul magistralei de date.

1.1.1.7. Modulul numărătoarelor de intrare. Impulsurile de la contoare, după o formatare și filtrare corespunzătoare, intră într-un modul de numărătoare. Acest modul are două niveluri. La primul nivel se face o divizare a impulsurilor astfel încît la ieșirea acestuia un impuls să corespundă unui 1 kWh. Al doilea nivel realizează înmagazinarea acestor impulsuri. Conținutul numărătoarelor reflectă în orice moment consumul actual de energie electrică.

1.1.2. Blocul de interfață cu consumatorii supraveghează

Acest bloc conține două tipuri de module funcționale :

— modulul de intrare ;
— modulul de ieșire.

1.1.2.1. Modulul de intrare face legătura între contor și microsistemul de calcul. Contorul emite impulsuri dreptunghiulare de 4 ms. Aceste impulsuri se filtrează și se convertesc în impulsuri TTL.

1.1.2.2. Modulul de ieșire conține circuitul de semnalizare-avertizare. Acest modul emite

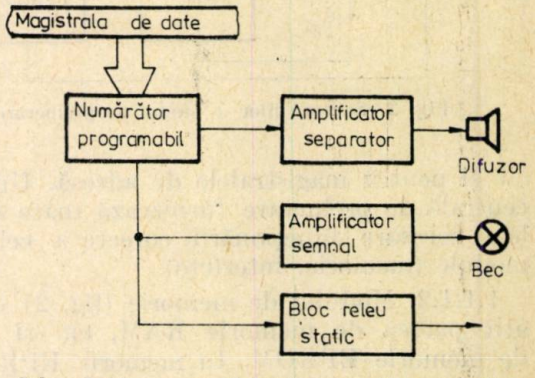


Fig. 5. Schemă bloc — modul de semnalizare-avertizare.

semnale acustice de frecvență și durată prestabilită în cazurile limită, în care operatorul trebuie atenționat.

Blocul conține un generator de semnal acustic, programabil, și un difuzor.

Modulul de semnalizare (fig. 5) are și o parte de semnalizare vizuală. Concomitent cu semnalul acustic se aprinde o diodă luminiscentă și există posibilitatea cuplării unui element de semnalizare exterioară.

1.1.3. Blocul de alimentare

Acest bloc va asigura toate tensiunile necesare funcționării echipamentului. Aceste tensiuni sînt : + 5V, + 12V, — 12V. Consumul maxim de curent este de : 6A de la sursa de + 5V, 1A de la sursa de + 12V și 1A de la sursa de — 12V.

2. Prelucrarea datelor

2.1. Obiectivele prelucrării datelor

Echipamentul are drept sarcină culegerea în timp real a informațiilor privind consumul de energie electrică al consumatorilor supravegheați, precum și o serie de prelucrări ulterioare complexe. Gama largă de prelucrări efectuate și operativitatea cu care se obțin acestea justifică utilitatea acestui echipament. Scopul acestor prelucrări constă în următoarele :

a — producerea și furnizarea în timp real a informațiilor necesare controlului operativ al consumatorilor urmăriți ;

b — înregistrarea și furnizarea la cerere a informațiilor necesare pentru analiza calitativă și cantitativă a comportării în timp a consumatorilor supravegheați.

Avînd în vedere acestea, obiectivele realizate de sistemul de prelucrare de date sînt :

a — eșantionarea și stocarea periodică cu o frecvență suficient de mare a consumului realizat de fiecare consumator în parte ;

b — calculul și stocarea valorilor momentane necesare controlului operativ ;

c — verificarea periodică și semnalizarea în timp real a oricărei depășiri de limită (putere/consum) ;

d — detectarea, înregistrarea și semnalizarea în timp real a întreruperilor de alimentare provocate de furnizorul de energie electrică ;

e — calculul și stocarea valorilor orare pe durata unei zile energetice ;

f — editarea unor situații și rapoarte operative, care vizualizează datele sub formă de tabele sau grafice, pe display sau hîrtie de imprimantă ;

g — editarea unor rapoarte retrospective referitoare la ziua energetică specificată de operator ;

h — arhivarea periodică a datelor caracteristice unei perioade prestabilite.

2.2. Descrierea sistemului de prelucrare a datelor

Microsistemul de calcul din componența echipamentului rulează programele de prelucrare a datelor, acestea compunîndu-se din :

a — procesorul de timp real ;

b — procesorul de comenzi ;

c — procesorul de comunicație.

Procesorul de timp real asigură efectuarea tuturor activităților operative, realizînd obiectivele a, b, c, d, e de la paragraful precedent.

Procesorul de comenzi execută comenzile selectate din setul de comenzi disponibile.

Procesorul de comunicație asigură circulația de date între procesorul microsistemului de calcul și interfețele dispozitivelor de intrare/ieșire.

Dispunînd de un ceas de timp real care generează întreruperi din 10 în 10 secunde — aceasta fiind perioada de eșantionare a înregistrărilor operative — procesorul de timp real gestionează două niveluri de întreruperi. Pe nivelul 1 se realizează prelucrările legate de interfațarea cu procesul urmărit, iar pe nivelul 2 operațiile de citire/scriere pe suportul magnetic. Gestiunea întreruperilor este astfel rezolvată încît desfășurarea unui proces, chiar dacă se întrepătrunde cu desfășurarea altuia, nu provoacă pierderi de informații.

2.3. Date asociate unui consumator

2.3.1. Datele fixe asociate unui consumator sînt :

a — identificatorul consumatorului, compus dintr-un număr și un nume. Numărul este folosit în prelucrări interne, iar numele în editarea diferitelor situații și rapoarte ;

b — limita de consum, reprezentînd valoarea maximă a consumului față de care se calculează limitele de avertizare. Prima avertizare se face la depășirea a 80% din limita de consum, iar a doua la depășirea limitei de consum ;

c — limita de putere : la fiecare 60 secunde puterea calculată este comparată în vederea unei avertizări, ca și la punctul b ;

d — factorul de normalizare a consumului este o dată numerică reprezentînd constanta de multiplicare a conținutului numărătorului de impulsuri la dimensiunea reprezentării interne a consumului ;

e — factorul de calcul al puterii este constanta de convertire a cuantei de consum în valori ale puterii.

2.3.2. Date variabile asociate unui consumator :

a — valoarea actuală a contorului ;

b — valoarea precedentă a contorului, care se obține prin salvarea la fiecare 10 s a valorii actuale ;

c — puterea momentană, calculată pe baza unei cuante de consum pe durata a 60 s ;

d — consumul orar;

e — puterea maximă orară este maximul puterii momentane într-un interval de o oră;

f — numărul întreruperilor de alimentare — se consideră întrerupere de alimentare o stagnare a consumului pe o perioadă de cel puțin 1 minut;

g — durata totală a întreruperilor;

h — consumurile orare pentru ziua energetică precedentă;

i — puterile maxime orare pentru ziua energetică precedentă;

k — durata totală a întreruperilor de alimentare pentru ziua energetică precedentă;

l — comutatorul de urmărire/scoatere de sub urmărire este un flag logic cu ajutorul căruia se poate suspenda la nivel software urmărirea unui consumator.

2.4. Situații editate

Echipamentul prezentat oferă posibilitatea editării unui mare număr de situații și rapoarte, cu scopul furnizării unor informații vizuale sintetice sau analitice asupra stării și evoluției consumatorilor de energie electrică și/sau puterilor absorbite de către consumatorii urmăriți.

Situațiile editate apar fie sub formă de tabele, fie sub formă de histograme (numite grafice). Situațiile sînt afișate pe ecranul monitorului TV, iar la cererea operatorului ele pot fi tipărite la miniimprimantă.

După natura informațiilor furnizate, situațiile se împart în două mari categorii:

— situații operative;

— situații retrospective.

Situațiile operative editate pe ecranul monitorului TV sînt realizate în mod regenerativ, ceea ce înseamnă că informațiile furnizate sînt actualizate permanent, în mod automat, corespunzător evoluției sistemului energetic urmărit.

Configurația standard a echipamentului asigură editarea următoarelor situații:

1. Tabelul energetic operativ: furnizează valorile consumului realizat, ale puterii instantanee, precum și ale puterii medii din ultima oră, pentru toți consumatorii urmăriți.

2. Graficul operativ al consumurilor, pentru toți consumatorii urmăriți.

3. Graficul puterilor instantanee, pentru toți consumatorii urmăriți.

4. Tabelul puterilor medii orare pe o zi și un anumit consumator. Poate fi editat cu datele referitoare la ziua curentă, la ziua precedentă celei curente (ziua de „ieri"), precum și la o zi oarecare, ale cărei date au fost înregistrate pe casetă magnetică.

5. Graficul puterilor medii orare pe o zi și un anumit consumator.

6. Situația întreruperilor de alimentare, care prezintă sub formă de tabel, pentru toți consumatorii urmăriți, numărul întreruperilor de alimentare, precum și durata totală a acestor întreruperi. Poate fi editat pentru ziua curentă și pentru cea precedentă („ieri").

La acest set de situații standard se pot adăuga și alte tabele și/sau grafice, conform nevoilor fiecărui beneficiar.

2.5. Aspecte de operare

Caracteristica de bază a echipamentului, din punctul de vedere al utilizatorului, este o mare ușurință de operare și exploatare. Principiul urmărit este de a oferi utilizatorului în fiecare moment atît gama de posibilități de opțiune, cît și instrucțiunile complete necesare operării în momentul respectiv.

Sistemul afișează un meniu principal cu denumirea principalelor funcțiuni, dintre care utilizatorul poate selecta, prin deplasarea unui cursor pe ecran și apăsarea tastei de selecție, orice comandă. La nevoie comenzile conțin subcomenzi ale acestora, care se selectează în același mod. Revenirea dintr-o comandă se face prin apăsarea tastei INT.

Echipamentul prezentat a fost realizat și pus în funcțiune la Intreprinderea Electromureș din Tg. Mureș, obținînd rezultate foarte bune în exploatare.

(Primit la 14 iulie 1987, acceptat la 4 ianuarie 1988)

Analiza stabilității sistemelor energetice la mici perturbații pe baza valorilor proprii ale matricii de stare

Dr. ing. Sebastian Ionescu, mat. Marioara Itoafă*

Descriptori: sistem electroenergetic, stabilitate, mici oscilații, matrice de stare

Introducere

Lucrarea prezintă modelul matematic și algoritmul de calcul, elaborate în cadrul Centrului de Calcul Electronic ISPE, pentru analiza stabilității la mici perturbații a sistemelor energetice complexe formate din centrale termo și hidroelectrice clasice, rețele și consumatori, precum și din centrale nuclearoelectrice cu unități de tip CANDU — 700.

Unitățile nuclearoelectrice modelate sînt echipate cu turbine (avînd regulatoare de viteză electrohidraulice MARK II) și generatoare sincrone cu sisteme de excitație GENERREX, realizate de firma General Electric (și care se vor produce în țară sub licență).

Un sistem energetic, aflat într-un regim inițial permanent de funcționare, este stabil după apariția unei mici perturbații, dacă regimul dinamic rezultat ca urmare a perturbației tinde către un regim permanent identic sau apropiat de regimul inițial [1,2].

Deoarece o mică perturbație se definește ca perturbația pentru care este permisă liniarizarea sistemului de ecuații care modelează regimul dinamic al sistemului energetic [1,2], stabilitatea în aceste condiții este determinată de valorile proprii ale sistemului de ecuații diferențiale liniarizate, care reprezintă rădăcinile ecuației caracteristice. O valoare proprie reală α determină un termen al soluției sistemului de ecuații diferențiale de forma $C \cdot \varepsilon^{\alpha t}$, C fiind o constantă de integrare; o pereche de valori proprii complex — conjugate de forma $\alpha \pm j\beta$, conduce la o componentă a soluției de forma $C \cdot \varepsilon^{\alpha t} \cdot \cos \beta t$. Rezultă: condiția necesară și suficientă pentru ca soluția sistemului de ecuații diferențiale liniarizate să tindă ($t \to \infty$) către o soluție de regim permanent este ca toate părțile reale (α) ale valorilor proprii să fie negative.

Metoda utilizată pentru analiza stabilității sistemelor energetice la mici perturbații necesită parcurgerea următoarelor etape de calcul [3, 4]:

— se determină un regim permanent al rețelei, folosind sistemul de ecuații algebrice neliniare care modelează funcționarea rețelei în regim cvasistaționar; variabilele care intervin sînt tensiunile nodurilor (în modul și argument pentru nodurile consumatoare și în modul pentru nodurile la care sînt conectate generatoare);

— pe baza regimului permanent al rețelei se determină regimul grupurilor generatoare; se construiește sistemul de ecuații diferențiale și algebrice liniarizate, care modelează comportarea sistemului electroenergetic în jurul punctului inițial de funcționare, după apariția unei mici perturbații; în model apar două tipuri de variabile: variabile de stare (care nu pot avea variații în salt: viteze de rotație, unghiuri interne ale generatoarelor, tensiuni electromotoare etc.) și variabile neinerțiale (care suferă variații în salt: modulul și argumentul tensiunilor nodurilor, puterile produse de generatoare etc.);

— variabilele neinerțiale se elimină folosind sistemul de ecuații algebrice liniarizate care modelează funcționarea rețelei în regim dinamic;

— se obține un sistem de ecuații diferențiale liniare, de forma:

$$\left[\frac{dz}{dt}\right] = [A] \cdot [z],$$

$[z]$ fiind matricea coloană a variabilelor de stare;

— se calculează valorile proprii ale matricii de stare $[A]$ care furnizează informațiile necesare și suficiente asupra stabilității sistemului la o mică perturbație, pentru regimul permanent considerat.

Metoda a fost algoritmizată în programul de calcul denumit STAB, elaborat în limbajul FORTRAN pentru calculatoarele din seria FELIX C 256.

În cadrul programului sînt modelate patru tipuri de grupuri generatoare:

1 — generatoare a căror comportare este simulată prin două ecuații diferențiale (electromecanice), considerînd o tensiune electromotoare constantă în „spatele" reactanței tranzitorii;

2 — grupuri generatoare modelate prin șapte ecuații diferențiale (două ecuații electromecanice, trei — electromagnetice, una — pentru sistemul de excitație, una pentru sistemul de admisie);

3 — grupuri generatoare modelate prin nouă ecuații diferențiale (suplimentar față de tipul 2 intervin două ecuații diferențiale corespun-

* Dr. ing. Sebastian Ionescu, mat. Marioara Itoafă — Institutul de Studii și Proiectări Energetice.

zătoare semnalelor derivata tensiunii și derivata frecvenței în sistemul de excitație);

4 — grupuri generatoare nuclearoelectrice al căror model matematic este prezentat în continuare în cadrul lucrării.

1. Schema bloc a sistemului de excitație GENERREX

Pentru grupurile de mare putere firma General Electric a construit sistemul de excitație GENERREX, care folosește o sursă de putere înglobată integral în generator [5].

Puterea necesară alimentării sistemului de excitație este produsă pe baza fluxului din întrefierul generatorului și curenților din înfășurările statorice. Sistemul de excitație realizat este autoexcitat, autoreglant și asigură un răspuns rapid de forțare la perturbații (scurtcircuite) caracterizate prin scăderea tensiunii la borne și creșterea curentului generatorului. Puterea de excitație pe partea de curent continuu se obține cu ajutorul unor punți statice de diode și tiristoare, comandate de regulatorul automat de tensiune.

Pentru simularea cu precizia necesară a comportării mașinilor sincrone în studiile de stabilitate este esențial ca sistemele de excitație să fie modelate suficient de detaliat. Într-un raport al Comitetului IEEE [6] se prezintă schemele bloc utilizabile pentru reprezentarea sistemului de excitație în analiza stabilității sistemelor energetice de mari dimensiuni, în cazul perturbațiilor mari, ca și pentru mici perturbații.

Sistemul de excitație GENERREX este încadrat în tipul ST3 [6] format din sisteme statice cu redresoare comandate care utilizează mărimi interne din generator, ce pot fi exprimate prin combinații fazoriale de tensiunea la bornele generatorului și curentului debitat pentru formarea sursei de putere de excitație (sisteme cu compoundaj).

Schema bloc pentru sistemele de excitație de tip ST3 [6], după efectuarea unor simplificări considerate acceptabile pentru regimuri de mici oscilații, este prezentată în figura 1 (s simbolizează derivata în raport cu timpul).

Se evidențiază următoarele mărimi care intervin în schema bloc a sistemului de excitație:

V_{ER} — abaterea de tensiune (u.r): $V_{ER} = (V_0 - V)/V_N$, în care V_0 — tensiunea de referință (kV), V — tensiunea la bornele generatorului (kV), V_N — tensiunea nominală (kV);

V_S — mărimea de ieșire din stabilizator (u.r.);

V_A — mărimea de ieșire din prima treaptă de amplificare a regulatorului automat de tensiune (RAT) (u.r.);

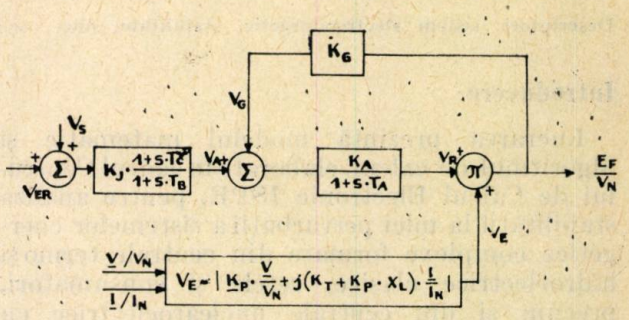


Fig. 1. Schema bloc a sistemelor de excitație de tip ST 3

V_G — mărimea de reacție internă în RAT (u.r.);

V_R — mărimea de ieșire din a doua treaptă de amplificare a RAT (u.r.);

V_E — mărimea proporțională cu tensiunea de alimentare a punții de redresare (u.r.);

V/V_N, I/I_N — fazorul tensiune la borne (raportat la V_N), respectiv fazorul curentului generatorului raportat la curentul nominal I_N;

E_F — tensiunea de excitație a generatorului (kV).

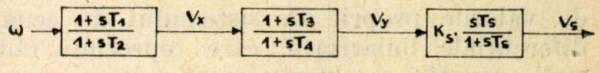


Fig. 2. Schema bloc a stabilizatorului sistemului de excitație.

Schema bloc a stabilizatorului sistemului de excitație (valabilă în regim de mici oscilații) este prezentată în figura 2; mărimea de intrare este ω și reprezintă abaterea vitezei de rotație a generatorului (u.r.).

2. Modelul matematic pentru simularea comportării grupurilor nuclearoelectrice cu sisteme de excitație GENERREX și regulatoare de viteză electrohidraulice MARK II, în regim de mici oscilații

Sistemul de ecuații diferențiale (prezentate sub formă operațională) și algebrice, neliniare, care modelează regimul dinamic al unei unități nucleare este următorul:

— ecuațiile operaționale electromecanice [11] care definesc variabilele:

ω — variația vitezei de rotație a grupului (u.r.) în raport cu viteza de sincronism;

δ — unghiul intern al generatorului (rad);

— ecuațiile operaționale electromagnetice [11] care definesc variabilele :

E'_q — tensiunea electromotoare tranzitorie (kV);

E''_d — tensiunea electromotoare supratranzitorie în axa d (kV);

E''_q — tensiunea electromotoare supratranzitorie în axa q (kV);

— ecuațiile operaționale și algebrice corespunzătoare sistemului de excitație GENERREX (schemele bloc din figurile 1 și 2) :

$$V_x = \frac{1 + s \cdot T_1}{1 + s \cdot T_2} \cdot \omega,$$

$$V_y = \frac{1 + s \cdot T_3}{1 + s \cdot T_4} \cdot V_x,$$

$$V_S = K_S \cdot \frac{s \cdot T_S}{1 + s \cdot T_S} \cdot V_y,$$

$$V_A = K_J \cdot \frac{1 + s \cdot T_C}{1 + s \cdot T_B} \left(\frac{V_0 - V}{V_N} + V_S \right), \qquad (1)$$

$$V_R = \frac{K_A}{1 + s \cdot T_A} \left(V_A - K_G \cdot \frac{E_F}{V_N} \right),$$

$$V_E \cong \left| K_P \frac{\underline{V}}{V_N} + jK_I \cdot \frac{\underline{I}}{I_N} \right|,$$

$$\frac{E_F}{V_N} = V_R \cdot V_E,$$

în care :

E_F reprezintă tensiunea electromotoare (kV) proporțională cu tensiunea de excitație a generatorului;

— ecuația operațională pentru regulatorul de viteză :

$$\Delta P_M = - \frac{1}{\sigma \cdot (1 + s \cdot T_V)} \cdot \omega, \qquad (2)$$

definește variabila P_M — puterea mecanică produsă de turbină (u.r.); σ este statismul permanent al regulatorului electrohidraulic, iar T_V — constanta de timp a sistemului de reglare a admisiei.

Ținînd seama de expresiile puterilor (activă și reactivă) debitate de generator :

$$P_G = \frac{E''_q \cdot V_d}{x''_d} - \frac{E''_d \cdot V_q}{x''_q} + \left(\frac{1}{x''_q} - \frac{1}{x''_d} \right) \cdot V_d \cdot V_q,$$

$$Q_G = \frac{E''_q \cdot V_q}{x''_d} + \frac{E''_d \cdot V_q}{x''_q} - \left(\frac{V_q^2}{x''_d} + \frac{V_d^2}{x''_q} \right), \qquad (3)$$

în care :

$V_d = V \cdot \sin(\delta - \theta)$; $V_q = V \cdot \cos(\delta - \theta)$; $\underline{V} = V \cdot \varepsilon^{j\theta}$ și folosind dezvoltările din anexa 1, se obține sistemul de ecuații liniarizate prezentat sub formă matricială în relația (4), în care apar variațiile mărimilor față de valorile acestora din regimul permanent inițial.

3. Interconectarea generatoarelor sincrone cu rețeaua electrică și consumatorii. Formarea matricii de stare [A]

Ecuațiile care definesc funcționarea sistemului electroenergetic interconectat format din surse, rețea și consumatori exprimă injecțiile de putere activă și reactivă în fiecare nod în funcție de tensiunile nodurilor și admitanțele laturilor; pentru un nod k există relația :

$$P_k + jQ_k = \underline{V}_k \cdot \underline{I}^*_k = \underline{V}_k \cdot \sum_{m \in k} \underline{Y}^*_{km} \cdot \underline{V}^*_m = \\ = V_k \cdot \varepsilon^{j\theta_k} \sum_{m \in k} (G_{km} - jB_{km}) \cdot V_m \cdot \varepsilon^{-j\theta_m} \qquad (5)$$

în care :

P_k, Q_k reprezintă puterea activă, respectiv reactivă, injectată în nodul k;

$\underline{V}_k = V_k \cdot \varepsilon^{j\theta_k}$, $\underline{V}_m = V_m \cdot \varepsilon^{j\theta_m}$ — fazorul tensiune în nodul k respectiv m;

$\underline{Y}_{km} = G_{km} + jB_{km}$ — admitanța laturii, k—m;

$m \in k$ semnifică nodurile m vecine cu nodul k, inclusiv nodul k.

În punctul inițial de funcționare se determină derivatele parțiale ale puterilor P_k și Q_k, notate

$$\frac{\partial P_k}{\partial \theta_m} = H_{km}, \quad \frac{\partial P_k}{\partial V_m} \cdot V_m = N_{km}, \quad \frac{\partial Q_k}{\partial \theta_m} = \\ = J_{km}, \quad \frac{\partial Q_k}{\partial V_m} \cdot V_m = L_{km}$$

și care au expresiile cunoscute [7].

Injecțiile de putere în nodul k se exprimă în funcție de puterile generatoarelor i conectate în nodul k și de puterile consumate :

$$P_k = P_{Gk} - P_{Ck} = \sum_{i \in k} P_{Gi} - P_{Ck}$$

$$Q_k = Q_{Gk} - Q_{Ck} = \sum_{i \in k} Q_{Gi} - Q_{Ck} \qquad (6)$$

			1	2	3	4	5	6	7	8
1	$s\Delta\omega$		$-\frac{D}{M}$		$\frac{1}{M}$	$-\frac{1}{M\cdot S_N}\cdot\frac{V_d}{x''_d}$	$\frac{1}{M\cdot S_N}\cdot\frac{V_q}{x''_q}$			
2	$s\Delta E'_q$			$-\frac{1}{T'_{d0}}\cdot\frac{x_d-x''_d}{x'_d-x''_d}$		$\frac{1}{T'_{d0}}\cdot\left[\frac{x_d-x'_d}{x'_d-x''_d}+\frac{v\cdot E_F}{u^2+v^2}\cdot\frac{\partial v}{\partial E''_q}\right]$	$\frac{1}{T'_{d0}}\cdot\frac{uE_F}{u^2+v^2}\cdot\frac{\partial u}{\partial E''_d}$			
3	$s\Delta P_M$		$-\frac{1}{\sigma\cdot T_V}$		$-\frac{1}{T_V}$					
4	$s\Delta E''_q$			$\frac{1}{T''_{d0}}$		$-\frac{1}{T''_{d0}}\cdot\frac{x'_d}{x''_d}$				
5	$s\Delta E''_d$						$-\frac{1}{T''_{q0}}\cdot\frac{x_q}{x''_q}$			
6	$s\Delta V_x$		$\frac{1}{T_2}\cdot\left(1-\frac{DT_1}{M}\right)$		$\frac{T_1}{T_2}\cdot\frac{1}{M}$	$\frac{T_1}{T_2}\cdot\left(-\frac{1}{M\cdot S_N}\cdot\frac{V_d}{x''_d}\right)$	$\frac{T_1}{T_2}\cdot\left(\frac{1}{M\cdot S_N}\cdot\frac{V_q}{x''_q}\right)$	$-\frac{1}{T_2}$		
7	$s\Delta V_y$	=	$\frac{1}{T_2}\cdot\frac{T_3}{T_4}\cdot\left(1-\frac{DT_1}{M}\right)$		$\frac{T_3}{T_4}\cdot\frac{T_1}{T_2}\cdot\frac{1}{M}$	$\frac{T_3}{T_4}\cdot\frac{T_1}{T_2}\cdot\left(-\frac{1}{M\cdot S_N}\cdot\frac{V_d}{x''_d}\right)$	$\frac{T_3}{T_4}\cdot\frac{T_1}{T_2}\cdot\left(\frac{1}{M\cdot S_N}\cdot\frac{V_q}{x''_q}\right)$	$\frac{1}{T_4}-\frac{1}{T_2}\cdot\frac{T_3}{T_4}$	$-\frac{1}{T_4}$	
8	$s\Delta V_S$		$\frac{K_S}{T_2}\cdot\frac{T_3}{T_4}\cdot\left(1-\frac{DT_1}{M}\right)$		$\frac{T_3}{T_4}\cdot\frac{T_1}{T_2}\cdot\frac{K_S}{M}$	$\frac{T_3}{T_4}\cdot\frac{T_1}{T_2}\cdot K_S\cdot\left(-\frac{1}{M\cdot S_N}\cdot\frac{V_d}{x''_d}\right)$	$\frac{T_3}{T_4}\cdot\frac{T_1}{T_2}\cdot K_S\cdot\left(\frac{1}{M\cdot S_N}\cdot\frac{V_q}{x''_q}\right)$	$K_S\left(\frac{1}{T_4}-\frac{T_3}{T_2T_4}\right)$	$-\frac{K_S}{T_4}$	$-\frac{1}{T_S}$
9	$s\Delta V'_A$									$\frac{1}{T_B}$
10	$s\Delta V_R$									$\frac{K_AK_J}{T_A}\cdot\frac{T_C}{T_B}$
11	$s\Delta\delta$		ω_0							

9	10	11			
		$-\frac{1}{M\cdot S_N}\cdot\left(Q+\frac{V_q^2}{x_q''}+\frac{V_d^2}{x_d''}\right)$	$\Delta\omega$	$\frac{1}{M\cdot S_N}\cdot\left(Q+\frac{V_q^2}{x_q''}+\frac{V_d^2}{x_d''}\right)$	$-\frac{1}{MS_N}\cdot\left[P+V_dV_q\left(\frac{1}{x_q''}-\frac{1}{x_d''}\right)\right]$
	$\frac{1}{T_{d0}'}\cdot\sqrt{u^2+v^2}$	$\frac{1}{T_{d0}'}\cdot\frac{E_F}{u^2+v^2}\cdot\left[u\frac{\partial u}{\partial\delta}+v\cdot\frac{\partial v}{\partial\delta}\right]$	$\Delta E_q'$	$\frac{1}{T_{d0}'}\cdot\frac{E_F}{u^2+v^2}\cdot\left(u\cdot\frac{\partial u}{\partial\theta}+v\frac{\partial v}{\partial\theta}\right)$	$\frac{1}{T_{d0}'}\cdot\frac{E_F}{u^2+v^2}\cdot\left(uV\frac{\partial u}{\partial V}+vV\frac{\partial v}{\partial V}\right)$
			ΔP_M		
		$-\frac{V_d}{T_{d0}''}\cdot\frac{x_d'-x_d''}{x_d''}$	$\Delta E_q''$	$\frac{V_d}{T_{d0}''}\cdot\frac{x_d'-x_d''}{x_d''}$	$\frac{V_q}{T_{d0}''}\cdot\frac{x_d'-x_d''}{x_d''}$
		$\frac{V_q}{T_{q0}''}\cdot\frac{x_q-x_q''}{x_q''}$	$\Delta E_d''$	$-\frac{V_q}{T_{q0}''}\cdot\frac{x_q-x_q''}{x_q''}$	$\frac{V_d}{T_{q0}''}\frac{x_q-x_q''}{x_q''}$
		$-\frac{T_1}{T_2}\cdot\frac{1}{MS_N}\cdot\left(Q+\frac{V_q^2}{x_q''}+\frac{V_d^2}{x_d''}\right)$	ΔV_x	$\frac{T_1}{T_2}\cdot\frac{1}{MS_N}\cdot\left(Q+\frac{V_q^2}{x_q''}+\frac{V_d^2}{x_d''}\right)$	$-\frac{T_1}{T_2}\cdot\frac{1}{MS_N}\cdot\left[P+V_dV_q\left(\frac{1}{x_q''}-\frac{1}{x_d''}\right)\right]$
		$-\frac{T_3}{T_4}\cdot\frac{T_1}{T_2}\cdot\frac{1}{MS_N}\cdot\left(Q+\frac{V_q^2}{x_q''}+\frac{V_d^2}{x_d''}\right)$	ΔV_y	$\frac{T_3}{T_4}\cdot\frac{T_1}{T_2}\cdot\frac{1}{MS_N}\cdot\left(Q+\frac{V_q^2}{x_q''}+\frac{V_d^2}{x_d''}\right)$	$-\frac{T_3}{T_4}\cdot\frac{T_1}{T_2}\cdot\frac{1}{M\cdot S_N}\cdot\left[P+V_dV_q\cdot\left(\frac{1}{x_q''}-\frac{1}{x_d''}\right)\right]$
		$-\frac{T_3}{T_4}\cdot\frac{T_1}{T_2}\cdot\frac{K_S}{M\cdot S_N}\cdot\left(Q+\frac{V_q^2}{x_q''}+\frac{V_d^2}{x_d''}\right)$	ΔV_s	$K_S\cdot\frac{T_3}{T_4}\cdot\frac{T_1}{T_2}\cdot\frac{1}{MS_N}\cdot\left(Q+\frac{V_q^2}{x_q''}+\frac{V_d^2}{x_d''}\right)$	$-K_S\cdot\frac{T_3}{T_4}\cdot\frac{T_1}{T_2}\cdot\frac{1}{MS_N}\cdot\left[P+V_dV_q\left(\frac{1}{x_q''}-\frac{1}{x_d'}\right)\right]$
$-\frac{1}{T_B}$			$\Delta V_A'$		$-\frac{1}{T_B}$
$\frac{K_A\cdot K_J}{T_A}\cdot\left(1-\frac{T_C}{T_B}\right)$	$-\frac{1}{T_A}\left(1+\frac{K_AK_C}{V_N}\cdot\sqrt{u^2+v^2}\right)$		ΔV_R		$-\left[\frac{K_AK_J}{T_A}\cdot\frac{T_C}{T_B}+\frac{K_A\cdot K_C}{T_A\cdot V_N}\cdot\frac{E_F}{u^2+v^2}\cdot\left(uV\frac{\partial u}{\partial V}+vV\frac{\partial v}{\partial V}\right)\right]$
			$\Delta\delta$		

$$\cdot\begin{vmatrix}\Delta\theta\\ \frac{\Delta V}{V}\end{vmatrix} \qquad (4)$$

Derivatele parțiale ale puterilor generate se obțin din relațiile (3) :

$$\left.\begin{aligned}
&\frac{\partial P_{Gi}}{\partial \delta_i} = Q_{Gi} + \frac{V_{qi}^2}{x''_{qi}} + \frac{V_{di}^2}{x''_{di}},\\
&\frac{\partial P_{Gi}}{\partial \theta_k} = -\frac{\partial P_{Gi}}{\partial \delta_i},\\
&\frac{\partial P_{Gi}}{\partial V_k}\cdot V_k = P_{Gi} + \left(\frac{1}{x''_{qi}} - \frac{1}{x''_{di}}\right)\cdot V_{di}\, V_{qi},\\
&\frac{\partial P_{Gi}}{\partial E''_{qi}} = \frac{V_{di}}{x''_{di}},\\
&\frac{\partial P_{Gi}}{\partial E''_{di}} = \frac{V_{qi}}{x''_{qi}},
\end{aligned}\right\} \quad m = 9 \qquad (7)$$

$$\left.\begin{aligned}
&\frac{\partial Q_{Gi}}{\partial \delta_i} = -P_{Gi} - \left(\frac{1}{x''_{qi}} - \frac{1}{x''_{di}}\right) V_{di}\, V_{qi},\\
&\frac{\partial Q_{Gi}}{\partial \theta_k} = -\frac{\partial Q_{Gi}}{\partial \delta_i},\\
&\frac{\partial Q_{Gi}}{\partial V_k}\cdot V_k = Q_{Gi} - \frac{V_{qi}^2}{x''_{di}} - \frac{V_{di}^2}{x''_{qi}},\\
&\frac{\partial Q_{Gi}}{\partial E''_{qi}} = \frac{V_{qi}}{x''_{di}},\\
&\frac{\partial Q_{Gi}}{\partial E''_{di}} = \frac{V_{di}}{x''_{qi}},
\end{aligned}\right\} \quad m = 10 \qquad (8)$$

în care :

$$V_{di} = V_k \cdot \sin(\delta_i - \theta_k) \text{ și } V_{qi} = V_k \cdot \cos(\delta_i - \theta_k).$$

Puterile absorbite de consumatorul din nodul k sînt date de expresiile :

$$\begin{aligned} P_{Ck} &= \text{const.}\\ Q_{Ck} &= A_k\, V_k^2, \end{aligned} \qquad (9)$$

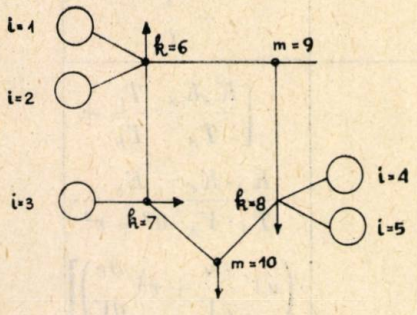


Fig. 3. Exemplu de rețea cu cinci generatoare ($i \in 1 \ldots 5$), trei noduri la care sînt conectate generatoare ($k \in 6, 7, 8$) și două noduri pur consumatoare ($m \in 9, 10$).

deci variațiile acestor mărimi sînt :

$$\Delta P_{Ck} = 0,$$

$$\Delta Q_{Ck} = \frac{\partial Q_{Ck}}{\partial V_k}\cdot V_k \cdot \frac{\Delta V_k}{V_k} = 2 \cdot Q_{Ck} \cdot \frac{\Delta V_k}{V_k}. \qquad (10)$$

Ecuațiile liniarizate care modelează funcționarea grupurilor generatoare, a rețelei și consumatorilor se prezintă în continuare sub formă matricială pentru rețeaua din figura 3.

Pentru nodurile pur consumatoare ($m \in 9,10$) sistemul de ecuații liniarizate este următorul :

	$k=6$		$k=7$		$k=8$		$m=9$		$m=10$	
$m=9$	H_{96}	N_{96}			H_{98}	N_{98}	H_{99}	N_{99}		
	J_{96}	L_{96}			J_{98}	L_{98}	J_{99}	L_{99}		
$m=10$			$H_{10.7}$	$N_{10.7}$	$H_{10.8}$	$N_{10.8}$			$H_{10.10}$	$N_{10.10}$
			$J_{10.7}$	$L_{10.7}$	$J_{10.8}$	$L_{10.8}$			$J_{10.10}$	$L_{10.10}$

$$\cdot \begin{vmatrix} \Delta\theta_6 \\ \Delta V_6/V_6 \\ \Delta\theta_7 \\ \Delta V_7/V_7 \\ \Delta\theta_8 \\ \Delta V_8/V_8 \\ \Delta\theta_9 \\ \Delta V_9/V_9 \\ \Delta\theta_{10} \\ \Delta V_{10}/V_{10} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -\Delta P_{c9} \\ -\Delta Q_{c9} \\ -\Delta P_{c10} \\ -\Delta Q_{c10} \end{vmatrix} \qquad (11)$$

Înlocuind în (11) variațiile puterilor consumate conform relațiilor (10) se obține sistemul :

$$[C]\cdot[\Delta y] + [B]\cdot[\Delta x] = [0] \qquad (12)$$

în care :

$$[B] = \begin{array}{c|cc|cc} & m=9 & & m=10 & \\ \hline m=9 & H_{99} & N_{99} & & \\ & J_{99} & L_{99} + 2Q_{c9} & & \\ \hline m=10 & & & H_{10.10} & N_{10.10} \\ & & & J_{10.10} & L_{10.10} + 2Q_{c10} \end{array}$$

$$[C] = \begin{array}{c|cc|cc|cc} & k=6 & & k=7 & & k=8 & \\ \hline m=9 & H_{96} & N_{96} & & & H_{98} & N_{98} \\ & J_{96} & L_{96} & & & J_{98} & L_{98} \\ \hline m=10 & & & H_{10.7} & N_{10.7} & H_{10.8} & N_{10.8} \\ & & & J_{10.7} & L_{10.7} & J_{10.8} & L_{10.8} \end{array}$$

$$[\Delta y]_t = \left|\Delta\theta_6\ \Delta V_6/V_6\ \Delta\theta_7\ \Delta V_7/V_7\ \Delta\theta_8\ \Delta V_8/V_8\right|$$

$$[\Delta x]_t = \left|\Delta\theta_9\ \Delta V_9/V_9\ \Delta\theta_{10}\ \Delta V_{10}/V_{10}\right|$$

Din relația (12) rezultă :

$$[\Delta x] = -[B]^{-1} \cdot [C] \cdot [\Delta y]. \qquad (13)$$

Pentru nodurile la care sînt conectate generatoare ($k \in 6,7,8$) sistemul de ecuații liniarizate este prezentat în relația (14).

$$\begin{array}{c|c|c|c|c|c|c|c|c|c|c|}
 & k=6 & & k=7 & & k=8 & & m=9 & & m=10 & \\
\hline
k=6 & H_{66} & N_{66} & H_{67} & N_{67} & & & H_{69} & N_{69} & & \\
 & J_{66} & L_{66} & J_{67} & L_{67} & & & J_{69} & L_{69} & & \\
\hline
k=7 & H_{76} & N_{76} & H_{77} & N_{77} & & & & & H_{7,10} & N_{7,10} \\
 & J_{76} & L_{76} & J_{77} & L_{77} & & & & & J_{7,10} & L_{7,10} \\
\hline
k=8 & & & & & H_{88} & N_{88} & H_{89} & N_{89} & H_{8,10} & N_{8,10} \\
 & & & & & J_{88} & L_{88} & J_{89} & L_{89} & J_{8,10} & L_{8,10}
\end{array}$$

$$\cdot \begin{array}{|c|}
\hline \Delta\theta_6 \\ \hline \Delta V_6/V_6 \\ \hline \Delta\theta_7 \\ \hline \Delta V_7/V_7 \\ \hline \Delta\theta_8 \\ \hline \Delta V_8/V_8 \\ \hline \Delta\theta_9 \\ \hline \Delta V_9/V_9 \\ \hline \Delta\theta_{10} \\ \hline \Delta V_{10}/V_{10} \\ \hline
\end{array} = \begin{array}{|c|}
\hline \Delta P_{G6} - \Delta P_{C6} \\ \hline \Delta Q_{G6} - \Delta Q_{C6} \\ \hline \Delta P_{G7} - \Delta P_{C7} \\ \hline \Delta Q_{G7} - \Delta Q_{C7} \\ \hline \Delta P_{G8} - \Delta P_{C8} \\ \hline \Delta Q_{G8} - \Delta Q_{C8} \\ \hline
\end{array} \qquad (14)$$

Variațiile puterilor debitate de generatoarele i conectate într-un nod k se exprimă în general sub forma :

$$\Delta P_{Gk} = \sum_{i \in k} \Delta P_{Gi} = \sum_{i \in k} \left(\frac{\partial P_{Gi}}{\partial \delta_i} \cdot \Delta\delta_i + \right.$$

$$+ \frac{\partial P_{Gi}}{\partial E''_{qi}} \cdot \Delta E''_{qi} + \frac{\partial P_{Gi}}{\partial E''_{di}} \cdot \Delta E''_{di} \Big) + \left(\sum_{i \in k} \frac{\partial P_{Gi}}{\partial \theta_k} \right) \cdot$$

$$\cdot \Delta\theta_k + \left(\sum_{i \in k} \frac{\partial P_{Gi}}{\partial V_k} \cdot V_k \right) \cdot \frac{\Delta V_k}{V_k}, \qquad (15)$$

$$\Delta Q_{Gk} = \sum_{i \in k} \Delta Q_{Gi} = \sum_{i \in k} \left(\frac{\partial Q_{Gi}}{\partial \delta_i} \cdot \Delta\delta_i + \right.$$

$$+ \frac{\partial Q_{Gi}}{\partial E''_{qi}} \cdot \Delta E''_{qi} + \frac{\partial Q_{Gi}}{\partial E''_{di}} \cdot \Delta E''_{di} \Big) + \left(\sum_{i \in k} \frac{\partial Q_{Gi}}{\partial \theta_k} \right) \cdot$$

$$\cdot \Delta\theta_k + \left(\sum_{i \in k} \frac{\partial Q_{Gi}}{\partial V_k} \cdot V_k \right) \cdot \frac{\Delta V_k}{V_k} \cdot$$

În continuare se introduce o matrice coloană $[\Delta z]$, avînd ca elemente variația mărimilor de stare atașate tuturor grupurilor i din sistemul considerat ; numărul de linii din matricea $[\Delta z]$ este $N = 2 \cdot N_{G1} + 7 \cdot N_{G2} + 9 \cdot N_{G3} + 11 \cdot N_{G4} - 1$,

în care :

$2 \cdot N_{G1}$ reprezintă numărul de variabile necesare pentru modelarea în regim dinamic a N_{G1} generatoare de tipul 1 ;

$7 \cdot N_{G2}$ — idem pentru tipul 2 etc.

Ultimul generator este considerat ca referință pentru măsura unghiurilor fazorilor de tensiune ; la acest grup nu mai apare variabila unghiul intern, ceea ce conduce la scăderea numărului de variabile de stare pentru întregul sistem cu o unitate.

În cazul exemplului cu cinci generatoare (figura 3), matricea $[\Delta z]$ are următoarea formă :

$$[\Delta z] = \begin{array}{r|c|}
 & \\
i=1 & [\Delta z_1] \\ \hline
i=2 & [\Delta z_2] \\ \hline
i=3 & [\Delta z_3] \\ \hline
i=4 & [\Delta z_4] \\ \hline
i=5 & [\Delta z_5] \\ \hline
\end{array}$$

Elementele componente ale unei submatrici $[\Delta z_i]$ sînt funcție de tipul grupului generator. Dacă de exemplu grupul $i = 1$ este de tip nuclear atunci matricea coloană $[\Delta z_1]$ are următoarele 11 elemente :

$$[\Delta z_1]_t = \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|c|}
\hline \Delta\omega_1 & \Delta E'_{q1} & \Delta P_{M1} & \Delta E''_{q1} & \Delta E''_{d1} & \Delta V_{x1} & \Delta V_{y1} \\ \hline
\end{array}$$

$$\begin{array}{|c|c|c|c|}
\hline \Delta V_{S1} & \Delta V'_{A1} & \Delta V_{R1} & \Delta\delta_1 \\ \hline
\end{array}$$

Folosind matricea $[\Delta z]$ variația puterilor debitate de generatoare se poate exprima sub forma :

$$\begin{array}{c|c|c|c|c|c|c|}
 & & i=1 & i=2 & i=3 & i=4 & i=5 \\
\hline
k=6 & \Delta P_{G6} & [F_{61}] & [F_{62}] & & & \\
 & \Delta Q_{G6} & & & & & \\
\hline
k=7 & \Delta P_{G7} & & & [F_{73}] & & \\
 & \Delta Q_{G7} & & & & & \\
\hline
k=8 & \Delta P_{G8} & & & & [F_{84}] & [F_{85}] \\
 & \Delta Q_{G8} & & & & & \\
\hline
\end{array} \cdot$$

$$\cdot \begin{array}{|c|}
\hline [\Delta z_1] \\ \hline [\Delta z_2] \\ \hline [\Delta z_3] \\ \hline [\Delta z_4] \\ \hline [\Delta z_5] \\ \hline
\end{array} = [F] \cdot [\Delta z] \qquad (16)$$

Ca exemplu se prezintă dezvoltat matricea $[F_{61}]$:

$$[F_{61}] = \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|c|c|c|c|c|}
\hline \omega_1 & E'_{q1} & P_{M1} & E''_{q1} & E'_{d1} & V_{x1} & V_{y1} & V_{S1} & V'_{A1} & V_{R1} & \delta_1 \\ \hline
 & & & \frac{\partial P_{G1}}{\partial E''_{q1}} & \frac{\partial P_{G1}}{\partial E''_{d1}} & & & & & & \frac{\partial P_{G1}}{\partial \delta_1} \\ \hline
 & & & \frac{\partial Q_{G1}}{\partial E''_{q1}} & \frac{\partial Q_{G1}}{\partial E''_{d1}} & & & & & & \frac{\partial Q_{G1}}{\partial \delta_1} \\ \hline
\end{array}$$

care conține derivatele parțiale date explicit în relațiile (7) și (8). În final, sistemul (14) se scrie sub următoarea formă compactă:

$$[E]\cdot[\Delta y]+[D]\cdot[Dx]=[F]\cdot[\Delta z], \quad (17)$$

în care s-a notat:

$$[E]=$$

	$k=6$		$k=7$		$k=8$	
$k=6$	H_{66} / J_{66}	N_{66} / $L_{66}+2Q_{C6}$	H_{67} / J_{67}	N_{67} / L_{67}	—	—
$k=7$	H_{76} / J_{76}	N_{76} / L_{76}	H_{77} / J_{77}	N_{77} / $L_{77}+2Q_{C7}$	—	—
$k=8$	—	—	—	—	H_{38} / J_{88}	N_{28} / $L_{88}+2Q_{C8}$

$$[D]=$$

	$m=9$		$m=10$	
$k=6$	H_{69} / J_{69}	N_{69} / L_{69}	—	—
$k=7$	—	—	$H_{7,10}$ / $J_{7,10}$	$N_{7,10}$ / $L_{7,10}$
$k=8$	H_{89} / J_{89}	N_{89} / L_{89}	$H_{8,19}$ / $J_{8,10}$	$N_{8,10}$ / $L_{8,10}$

Prin introducerea matricii $[\Delta x]$, obținută din (13), în relația (17) rezultă:

$$\{[E]-[D]\cdot[B]^{-1}\cdot[C]\}\cdot[\Delta y]=[F]\cdot[\Delta z]$$

sau

$$[G]\cdot[\Delta y]=[F]\cdot[\Delta z] \quad (18)$$

cu

$$[G]=[E]-[D]\cdot[B]^{-1}\cdot[C]$$

Relația matricială (4), scrisă pentru un grup generator, are următoarea formă generală:

$$[s\cdot\Delta z]=[M]\cdot[\Delta z]+[K]\cdot[\Delta y] \quad (19)$$

în care:

$[s\Delta z]=\left[\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\Delta z\right]$ — reprezintă matricea coloană conținînd derivatele în raport cu timpul ale variațiilor mărimilor de stare pentru toate generatoarele conectate la rețea.

În cazul exemplului considerat matricele $[M]$ și $[K]$ sînt date de relațiile următoare:

$$M=$$

	$i=1$	$i=2$	$i=3$	$i=4$	$i=5$
$i=1$	$[M_1]$				
$i=2$		$[M_2]$			
$i=3$			$[M_3]$		
$i=4$				$[M_4]$	
$i=5$					$[M_5]$

$$[K]=$$

	$k=6$	$k=7$	$k=8$
$i=1$	$[K_{16}]$		
$i=2$	$[K_{26}]$		
$i=3$		$[K_{37}]$	
$i=4$			$[K_{48}]$
$i=5$			$[K_{58}]$

Substituind matricea $[\Delta y]$ în relația (19) se obține:

$$[s\Delta z]=\{[M]-[K]\cdot[G]^{-1}\cdot[F]\}\cdot[\Delta z]=$$
$$=[A]\cdot[\Delta z], \quad (20)$$

în care:

$[A]=[M]-[K]\cdot[G]^{-1}\cdot[F]$ este matricea de stare atașată sistemului de ecuații diferențiale liniarizate, ale cărei valori proprii determină caracterul stabil sau nestabil al regimului de funcționare, la apariția unei mici perturbații.

4. Algoritmul de calcul

Algoritmul pentru determinarea rezervei de stabilitate la mici perturbații are următoarele părți principale (schema bloc este prezentată în figura 4):

4.1. Determinarea regimului permanent al rețelei.

4.2. Calculul regimului generatoarelor.

4.3. Formarea matricei de stare [A].

4.4. Calculul valorilor proprii.

4.5. Determinarea variației mărimilor de stare în funcție de timp (opțional).

4.6. Studiul rezervei de stabilitate la variația unui parametru.

Se prezintă pe scurt conținutul etapelor principale de calcul:

4.1. Pentru obținerea *regimului permanent* este necesar să se determine:

— unghiul fazorului de tensiune (θ) pentru fiecare nod la care este conectat cel puțin un generator (cu excepția nodului de echilibru), ecuația corespunzătoare fiind cea care exprimă bilanțul de putere activă în nod $P_G-P_C=$ $=\mathrm{f}(\theta,V)$; modulul tensiunii nodului este constant dacă puterea reactivă injectată este cuprinsă într-un interval (Q_{MIN}, Q_{MAX}), încălcarea acestor limite implicînd transformarea nodului generator într-un nod consumator;

— unghiul fazorului de tensiune (θ) și modulul acestuia (V) pentru fiecare nod consumator, ecuațiile corespunzătoare fiind cele care exprimă bilanțul de putere activă P_G- $-P_C=\mathrm{f}(\theta,V)$ și reactivă $Q_G-Q_C=g(\theta,V)$.

Algoritmul de calcul folosește metoda Newton — Raphson, elementele din matricea Jacobian fiind actualizate la fiecare iterație.

După obținerea regimului permanent condițiile $V=$const. în nodurile generatoare se relaxează ca și condițiile $V=$ const. și $\theta=$ const. în nodul de echilibru, calculîndu-se

derivatele parțiale H, J, L, N pentru fiecare nod al rețelei, adică o matrice Jacobian completă de ordin $2 \cdot N_R$(N_R = numărul de noduri din rețea), care este utilizată în continuare la formarea matricei de stare [A].

4.2. Se calculează, folosind relațiile din anexa 2, *mărimile inițiale caracteristice fiecărui generator* (unghiul intern, tensiunile electromotoare în axa q și d, mărimile specifice sistemelor de excitație și de viteză etc.) în funcție de puterile (P_G, Q_G) produse, tensiunea la borne (V, θ) și parametrii generatorului introduși prin datele de intrare.

4.3. Se formează matricea de stare [A] pe baza procedeului prezentat în lucrare.

Ordinul acestei matrici este cuprins între $2 \cdot N_G - 1$ (numai generatoare de tipul 1) și $11 \cdot N_G - 1$ (numai generatoare de tip nuclear — N_G fiind numărul de generatoare).

La ultimul generator δ este considerat unghi de referință și este eliminat dintre variabilele de stare.

Sistemul liniarizat de ecuații care modelează regimul dinamic după apariția unei mici perturbații se poate exprima sub forma compactă (21) :

$$\left[\begin{array}{c|c|c} [B] & [C] & \\ \hline [D] & [E] & [F] \\ \hline & [K] & [M] \end{array}\right] \cdot \left[\begin{array}{c} [\Delta x] \\ \hline [\Delta y] \\ \hline [\Delta z] \end{array}\right] = \left[\begin{array}{c} [0] \\ \hline [0] \\ \hline [s\Delta z] \end{array}\right] \qquad (21)$$

din care rezultă :

$$[A] \cdot [\Delta z] = [s\Delta z]$$

cu

$$[A] = [M] - [K]\,[G]^{-1} \cdot [F] = [M] - \\ - [K]\{[E] - [D] \cdot [B]^{-1}\,[C]\}^{-1}\,[F].$$

Din examinarea relației (21) se constată că matricea de stare [A] se poate obține prin eliminarea succesivă, linie cu linie, a variabilelor [Δx] și [Δy], folosind algoritmul Gauss, evitîndu-se inversarea matricelor [B] și [G].

4.4. Se calculează valorile proprii ale matricei de stare [A], ceea ce corespunde determinării soluțiilor ecuației caracteristice :

$$Det\ \{[A] - \lambda\,[U]\} = 0$$

în care :

Det semnifică determinantul, iar

[U] — o matrice unitate având ordinul matricei [A].

Setul complet de valori proprii ale matricei nesimetrice [A] se obține folosind algoritmul QR [8], care nu exploatează proprietatea de sparsitate a matricei de stare. Pentru a evita introducerea unor eventuale erori de calcul în evaluarea valorilor proprii și ținînd seama de volumul total de memorie necesară în cadrul programului STAB ordinul matricei [A] este limitat la valoarea maximă 100.

4.5. Determinarea variației mărimilor de stare în funcție de timp (opțional). În cadrul algoritmului este inclusă posibilitatea obținerii variației în funcție de timp a mărimilor de stare prin integrarea numerică a sistemului liniarizat de ecuații diferențiale (20) după apariția unei mici perturbații. Această opțiune este introdusă în scopul obținerii unor informații suplimentare asupra regimului dinamic (de exemplu amortizarea oscilațiilor) și este indicat să fie folosită numai pentru anumite cazuri selecționate, pentru scurtarea timpului de calcul.

Algoritmul utilizează metoda implicită a trapezelor [9] pentru integrarea numerică cu pas constant ($\Delta t = 10 - 20$ ms) a sistemelor de ecuații diferențiale liniare, care asigură o bună precizie pentru intervale medii de timp (de exemplu 10 s).

4.6. Studiul rezervei de stabilitate la variația unui parametru. Algoritmul permite analiza stabilității la mici perturbații în condițiile modificării cu un pas constant a oricărei date inițiale de intrare care caracterizează generatoarele, rețeaua sau consumatorii. Pentru aceasta se specifică mărimea care se parametrizează, numărul pașilor de calcul și valoarea cu care se modifică mărimea respectivă la fiecare pas.

După actualizarea unei mărimi care influențează regimul permanent al rețelei (de exemplu puterea produsă sau consumată într-un nod, tensiunea unui nod generator etc.) calculul se reia de la punctul 4.1. ; dacă modificarea se referă la un parametru de generator (reactanță, coeficient de amplificare din sistemul de excitație etc.) reluarea calculelor se face de la punctul 4.2.

Pentru fiecare valoare a parametrilor se determină valorile proprii ale matricei de stare ; calculul se oprește automat, dacă în decursul parametrizării se ajunge la un regim instabil.

Programul STAB are o structură arborescentă, compusă din subprogramul principal și 19 segmente componente, lungimea celei mai mari ramuri fiind 64 KO. Programul permite studiul stabilității sistemelor energetice avînd dimensiuni maxime de 100 noduri, 200 laturi și 25 generatoare, cu condiția ca ordinul matricii [A] să fie de maximum 100.

Durata calculului pentru un sistem electroenergetic cu 27 noduri, dintre care 6 noduri

generatoare și 21 consumatoare, pentru 7 regimuri staționare, succesiv înrăutățite, a fost de circa 12 minute.

Concluzii

Analiza modală (pe baza valorilor proprii) aplicată în studiul stabilității micilor oscilații ale sistemelor energetice complexe reprezintă un mijloc superior de investigație, care tinde să înlocuiască metodele tradiționale bazate pe utilizarea criteriilor practice de stabilitate statică [10].

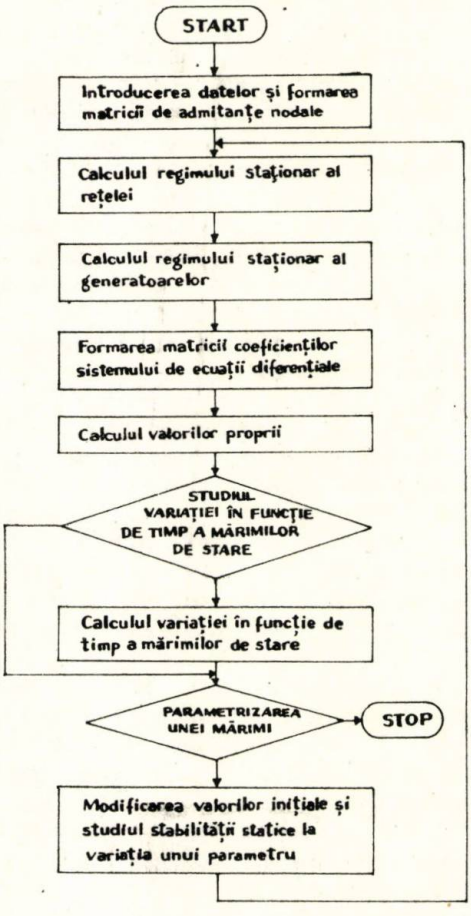


Fig. 4. Schema bloc a programului STAB.

Programul STAB care înglobează noua metodologie a fost utilizat frecvent în ultimii ani în analizele regimurilor de funcționare ale SEN efectuate de către ISPE. Implementarea în cadrul programului a opțiunii privind modelarea centralelor nucleare mărește gradul său de generalitate și îl adaptează la necesitățiile de calcul pentru etapa actuală de dezvoltare a SEN. Domeniul specific de aplicare a programului STAB este analiza de detaliu a stabilității la mici perturbații a centralelor electrice cu reprezentarea zonei „apropiate" (din punct de vedere electric) în adevărata identitate și introducerea unor echivalenți pentru restul sistemului. În acest scop, în cadrul institutului sînt utilizate criterii și procedee de echivalare bazate pe aplicarea analizei nodale — Dimo.

ANEXA 1

Sistemul de ecuații liniarizate care modelează comportarea unui grup nuclearoelectric la mici perturbații

Ecuațiilor operaționale neliniare care modelează funcționarea unui grup nuclearoelectric le corespund următoarele ecuații diferențiale liniarizate, în care apar variațiile (abaterile) Δ ale mărimilor, față de valorile din regimul inițial de funcționare:

- $$\frac{d\Delta\omega}{dt} = -\frac{D}{M}\cdot\Delta\omega + \frac{\Delta P_M}{M} - \frac{1}{M\cdot S_N}\cdot\Delta P$$

în care:

$$\Delta P = \frac{\partial P}{\partial\delta}\cdot\Delta\delta + \frac{\partial P}{\partial E_q''}\cdot\Delta E_q'' + \frac{\partial P}{\partial E_d''}\cdot\Delta E_d'' + \frac{\partial P}{\partial\theta}\cdot\Delta\theta + \frac{\partial P}{\partial V}\cdot V\cdot\frac{\Delta V}{V}$$

cu

$$\frac{\partial P}{\partial\delta} = Q + \frac{V_q^2}{x_q''} + \frac{V_d^2}{x_d''} = -\frac{\partial P}{\partial\theta}$$

$$\frac{\partial P}{\partial V}\cdot V = P + V_d\cdot V_q\cdot\left(\frac{1}{x_q''} - \frac{1}{x_d''}\right)$$

$$\frac{\partial P}{\partial E_q''} = \frac{V_d}{x_q''};\quad \frac{\partial P}{\partial E_d''} = -\frac{V_q}{x_q''}$$

- $$\frac{d\Delta\delta}{dt} = \omega_0\cdot\Delta\omega$$

- $$\frac{d\Delta P_M}{dt} = -\frac{\Delta P_M}{T_V} - \frac{1}{T_V}\cdot\frac{\Delta\omega}{\sigma}$$

- $$\frac{d\Delta E_q'}{dt} = \frac{1}{T_{d0}'}\cdot\Delta E_F - \frac{1}{T_{d0}'}\cdot\frac{x_d - x_d''}{x_d' - x_d''}\cdot\Delta E_q' + \frac{1}{T_{d0}'}\cdot\frac{x_d - x_d'}{x_d' - x_d''}\cdot\Delta E_q''$$

- $$\frac{d\Delta E_q''}{dt} = \frac{1}{T_{d0}''}\cdot\Delta E_q' - \frac{1}{T_{d0}''}\cdot\frac{x_d' - x_d''}{x_d''}\left[V_q\cdot\frac{\Delta V}{V} - V_d(\Delta\delta - \Delta\theta)\right] - \frac{1}{T_{d0}''}\cdot\frac{x_d'}{x_d''}\cdot\Delta E_q''$$

- $$\frac{d\Delta E_d''}{dt} = -\frac{1}{T_{q0}''}\cdot\frac{x_q}{x_q''}\cdot\Delta E_d'' + \frac{1}{T_{q0}''}\cdot\frac{x_q - x_q''}{x_q''}\cdot\left[V_d\cdot\frac{\Delta V}{V} + V_q(\Delta\delta - \Delta\theta)\right]$$

- $$\frac{d\Delta V_x}{dt} = -\frac{1}{T_2}\cdot\Delta V_x + \frac{1}{T_2}\Delta\omega + \frac{T_1}{T_2}\cdot\frac{d\Delta\omega}{dt}$$

- $$\frac{d\Delta V_y}{dt} = -\frac{1}{T_4}\cdot\Delta V_y + \frac{1}{T_4}\cdot\Delta V_x + \frac{T_3}{T_4}\cdot\frac{d\Delta V_x}{dt}$$

- $$\frac{d\Delta V_S}{dt} = -\frac{1}{T_S}\cdot\Delta V_S + K_S\cdot\frac{d\Delta V_y}{dt}$$

- $$\frac{d\Delta V'_A}{dt} = -\frac{\Delta V'_A}{T_B} + \frac{1}{T_B}\left(-\frac{\Delta V}{V} + \Delta V_S\right)$$

- $$\Delta V_A = K_J\cdot\left(1 - \frac{T_C}{T_B}\right)\cdot\Delta V'_A + K_J\cdot\frac{T_C}{T_B}\left(-\frac{\Delta V}{V} + \Delta V_S\right)$$

- $$\frac{d\Delta V_R}{dt} = -\frac{\Delta V_R}{T_A} + \frac{K_A}{T_A}\Delta V_A - \frac{K_A\cdot K_G}{T_A}\cdot\frac{\Delta E_F}{V_N}$$

- $$\frac{\Delta E_F}{V_N} = V_E\cdot\Delta V_R + V_R\cdot\Delta V_R$$

Prin substituția lui: $\underline{V} = V_d + jV_q$ și $\underline{I} = I_d + jI_q = \frac{E''_q - V_q}{x''_d} + j\,\frac{V_d - E''_d}{x''_q}$ în expresia lui V_E

se obține:

$$V_E = \frac{1}{V_N}\left|\left(K'_P\cdot V_d - K''_P\cdot V_q - K'_I\cdot\frac{V_d - E''_d}{x''_q}\right) + j\left(K'_P\cdot V_q + K''_P\cdot V_d + K'_I\cdot\frac{E''_q - V_q}{x''_d}\right)\right|$$

cu

$$\underline{K}_P = K'_P + jK''_P \text{ și } K'_I = K_I\cdot\frac{V_N}{I_N} = K_I\cdot Z_N$$

deci

$$V_E = \frac{1}{V_N}\cdot\sqrt{u^2 + v^2}$$

în care:

$$u = \left(K'_P - \frac{K'_I}{x''_q}\right)\cdot V_d - K''_P\cdot V_q + \frac{K'_I}{x''_q}\cdot E''_d$$

$$v = \left(K'_P - \frac{K'_I}{x''_d}\right)\cdot V_q + K''_P\cdot V_d + \frac{K'_I}{x''_d}\cdot E''_q$$

și

- $$\Delta V_E = \frac{1}{V_N}\cdot\frac{u\cdot\Delta u + v\cdot\Delta v}{\sqrt{u^2 + v^2}}$$

în care

$$\Delta u = \frac{\partial u}{\partial\delta}\cdot\Delta\delta + \frac{\partial u}{\partial\theta}\cdot\Delta\theta + \frac{\partial u}{\partial V}\cdot V\cdot\frac{\Delta V}{V} + \frac{\partial u}{\partial E''_d}\cdot\Delta E''_d$$

$$\Delta v = \frac{\partial v}{\partial\delta}\cdot\Delta\delta + \frac{\partial v}{\partial\theta}\cdot\Delta\theta + \frac{\partial v}{\partial V}\cdot V\cdot\frac{\Delta V}{V} + \frac{\partial v}{\partial E''_q}\cdot\Delta E''_q$$

cu

$$\frac{\partial u}{\partial\delta} = \left(K'_P - \frac{K'_I}{x''_q}\right)\cdot V_q + K''_P\cdot V_d = -\frac{\partial u}{\partial\theta}$$

$$\frac{\partial u}{\partial V}\cdot V = \left(K'_P - \frac{K'_I}{x''_q}\right)\cdot V_d - K''_P\cdot V_q;\quad \frac{\partial u}{\partial E''_d} = \frac{K'_I}{x''_q}$$

$$\frac{\partial v}{\partial\delta} = -\left(K'_P - \frac{K'_I}{x''_d}\right)\cdot V_d + K''_P\cdot V_q = -\frac{\partial v}{\partial\theta}$$

$$\frac{\partial v}{\partial V}\cdot V = \left(K'_P - \frac{K'_I}{x''_d}\right)\cdot V_q + K''_P\cdot V_d;\quad \frac{\partial v}{\partial E''_q} = \frac{K'_I}{x''_d}$$

Eliminînd variabilele ΔP, ΔV_A, ΔE_F, ΔV_E, Δu și Δv se obține în final sistemul de ecuații liniarizate (4) în care apar 11 variabile de stare: $\Delta\omega$, $\Delta E'_q$, ΔP_M, $\Delta E''_q$, $\Delta E''_d$, ΔV_x, ΔY_y, ΔV_S, $\Delta V'_A$ ΔV_R și $\Delta\delta$, precum și variabilele neinerțiale $\Delta\theta$ și $\frac{\Delta V}{V}$.

ANEXA 2

Determinarea regimului inițial al unui generator dintr-o centrală nuclearoelectrică

Relațiile principale de calcul pentru un generator de tipul 4 sînt următoarele:

— componentele pe axa reală și imaginară a curentului debitat de generator:

$$I' = \frac{P_G\cdot e + Q_G\cdot f}{e^2 + v^2};\quad I'' = \frac{P_G\cdot f - Q_G\cdot e}{e^2 + f^2}$$

cu

$$e = V\cdot\cos\theta;\quad f = V\cdot\sin\theta;$$

— modulul și argumentul fazorului curent debitat:

$$I = \sqrt{I'^2 + I''^2};\quad \Psi = \operatorname{arc\,tg}\frac{I''}{I'};$$

— componentele pe axa reală și imaginară a unei tensiuni electromotoare E, care determină unghiul intern al generatorului:

$$E' = e - x_q\cdot I'';\quad E'' = f + x_q\cdot I';$$

— unghiul intern al generatorului:

$$\delta = \operatorname{arc\,tg}\frac{E''}{E'};$$

— componentele tensiunii la borne în axele d, q:

$$V_d = V\cdot\sin(\delta - \theta);\quad V_q = V\cdot\cos(\delta - \theta);$$

— componentele curentului în axele d, q:

$$I_d = I\cdot\sin(\delta - \Psi);\quad I_q = I\cdot\cos(\delta - \Psi);$$

— tensiunile electromotoare:

$$E_F = V_q + x_d\,I_d;\quad E'_q = V_q + x'_d\cdot I_d;\quad E''_q = V_q + x''_d\cdot I_d;$$

$$E''_d = V_d - x''_q\cdot I_q;$$

– mărimile din sistemul de excitație:

$$V_E = \frac{1}{V_N}\cdot\sqrt{u^2+v^2};\quad V_R = \frac{1}{V_E}\cdot\frac{E_F}{V_N};\quad V_A = \frac{V_R}{K_A} + K_G\cdot\frac{E_F}{V_N};$$

$$V_S = 0;\quad \frac{V_0}{V_N} = \frac{V_A}{K_J} + \frac{V_F}{K_N}.$$

Bibliografie

[1] CIGRE *Working Group: Définition des termes concernant la stabilité des machines synchrones interconnectées.* CIGRE, Rapport 334 bis, 1966.

[2] *Task Force on Terms and Definitions: Proposed Terms and Definitions for Power System Stability.* În: IEEE, Transactions on PAS, vol PAS–101, No. 7, July 1982.

[3] Ionescu, S., Creţu, I., Iliescu, N. *Noi aspecte în analiza stabilităţii sistemelor electroenergetice cu ajutorul calculatoarelor electronice.* Conferinţa Energeticienilor din România. Institutul Politehnic Bucureşti, 17–19 oct. 1974.

[4] Kundur, P., Dandeno, P. L. *Practical Application of Eigenvalue Technique in the Analysis of Power System Dynamic Stability Problems.* Power System Computation Conference, Cambridge, September 1–5 1975.

[5] Gerlitz, R. K., Gorman, R. E., Temoshok, M. *The GENERREX Excitation System for Large Steam Turbine-Generators.* Pacific Coast Electric Association Engineering and Operation Conference, March 1975.

[6] IEEE Committee Report. *Excitation System Models for Power System Stability Studies.* În: IEEE Transactions on PAS, vol PAS–100, No. 2, February, 1981.

[7] Tinney, W. F., Powell, W. L. *Notes on Newton Raphson Method for Solution of AC Power Flow Problem.* BPA Portland, Oregon, 1971.

[8] Wilkinson, J. H. *The Algebraic Eigenvalue Problem.* Clarendon Press, Oxford, 1965.

[9] Dommel, H. W., Sato, N. *Fast Transient. Stability Solutions.* În: IEEE Transactions on PAS, vol. 91, No. 4, April, 1972.

[10] Pioger, G., Pavard, M., Leost, J. Y. *Méthodes et outils utilisée par le CEGB, l'ENEL et l'EdF pour effectuer les etudes de stabilite statique.* În: Bulletin de la Direction des Etudes et Recherches, Serie B, no. 3, 1984.

[11] Dimo, P. ş.a. *Calculul şi proiectarea sistemelor electroenergetice* (capitolul 11). Bucureşti, Editura Tehnică, 1971.

(Primit la 21 noiembrie 1987, acceptat la 8 februarie 1988)

NOUTĂŢI

Din energetica mondială

MICROCALCULATORUL VA PROGNOZA AVARIILE DIN SISTEMUL DE DISTRIBUŢIE A ENERGIEI ELECTRICE

Londra (LPS): Un puternic microcalculator cu sistem rapid, care urmează să fie instalat la universitatea Bath în sud-vestul Angliei, îi va ajuta pe ingineri să prognozeze avariile majore din sistemul energetic naţional al Angliei.

Central Electricity Generating Board (CEGB), precum şi Science Engineering Research Council au acordat în comun fondul de 85361 lire pentru constituirea unui model matematic al reţelei de electricitate. Doi cercetători au lucrat timp de şase ani pe un model matematic al reţelei, folosind un procesor lent cu 16 biţi. Fondul acordat recent le va da posibilitatea să folosească un procesor cu 32 biţi, de cel puţin şapte ori mai puternic, cu un grup de 12 microcalculatoare din noua generaţie, funcţionînd în paralel. Rezultatul va fi un sistem delicat de calcul mai adecvat acestui proiect decît cel mai mare calculator din lume.

Modelul matematic reprezintă între 40–50 centrale electrice din întreaga Anglie şi reţeaua care le uneşte pentru a alcătui sistemul reţelei.

Viteza cu care funcţionează sistemul microcalculatorului cu 32 biţi va da inginerilor de la CEGB posibilitatea să supravegheze situaţia alimentării cu electricitate pe plan naţional, în avans faţă de sistemul real. În acest fel, pot fi remediate întreruperile în alimentare din cauza condiţiilor meteorologice nefavorabile sau din cauza ruperii cablurilor. Remedierile se vor opera pe baza soluţiilor propuse de calculator.

Cu un astfel de sistem puternic, problemele sînt rezolvate simultan nu secvenţial.

În momentul definitivării proiectului, inginerii de la CEGB vor putea să folosească modelul la sediul lor din Londra, ca dispozitiv de prognoză a avariilor. Întregul sistem, inclusiv software-ul, va putea fi preluat de serviciile de distribuţie a electricităţii din toată lumea şi va fi adaptat în funcţie de necesităţile lor.

PROGNOZĂ ENERGETICĂ PENTRU ANUL 2030 ELABORATĂ DE ÖKO-INSTITUT DIN R.F. GERMANIA

Rezultatele unor cercetări de prognoză privind direcţiile de dezvoltare a energeticii mondiale, efectuate de ÖKO-Institut, arată că în anul 2030, deşi volumul producţiei industriale va creşte de două ori, consumul de energie primară va scădea cu 50%. O mare parte din cerinţele de energie va fi acoperită în acel an pe seama surselor regenerabile de energie: hidro, solară, energia vîntului şi a biomasei.

Deficitul de energie solară în lunile de iarnă va putea fi suplinit prin energia vîntului, care atinge în această perioadă maximum de intensitate. În articolul pe această temă (publicat în revista: ÖKO.MITT. Inst. Angew. Ökol. Freiburg 1987, 10, nr. 1) se redă şi o schemă structurală a utilizării surselor regenerabile de energie.

(După „Referativnîi Jurnal" 22, Energhetika, vol. general, nr. 8/1987, poz. 8T3)

Analiza din punctul vedere al fiabilității – mijloc eficient pentru stabilirea priorităților în măsurile de creștere a siguranței în funcționare a instalațiilor energetice

Dr. ing. Mircea Ciobanu, ing. Persida Iancovici, ing. Manfred Stein*

Descriptori: fiabilitate, sistem electroenergetic

Generalități

Introducerea analizelor din punctul de vedere al fiabilității la studiul și compararea soluțiilor preconizate pentru instalațiile energetice, este o practică încetățenită în ISPE, mai ales în cazul instalațiilor electrice, la care s-au început astfel de aplicații cu mulți ani în urmă. Pentru instalațiile electrice s-au și acumulat, de mulți ani încoace, date de bază necesare calculelor de fiabilitate, pentru scheme electrice. Este de dată mai recentă aplicarea analizelor și calculelor de fiabilitate la schemele termoenergetice din centralele electrice clasice, dar perspectivele de utilizare a unor astfel de analize la centralele electrice sînt foarte promițătoare. În fond, realizarea instalațiilor de centrale pentru niveluri de disponibilitate prescrise, face indispensabile analizele și calculele de siguranță, la studiul și selecția soluțiilor de adoptat pentru diverse instalații. Acest lucru este valabil nu numai pentru centralele noi aflate în stadiul de concepție, dar și pentru centrale existente, la care nivelul de disponibilitate nu este cel scontat și la care se fac eforturi pentru creșterea siguranței.

În cazul instalațiilor tehnologice din CNE, analizele și calculele de siguranță sînt obligatorii, deoarece pentru centralele nucleare se impun obiectivele de singuranță pentru toate instalațiile care pot condiționa în vreun fel securitatea nucleară.

În cazul CNE, la proiectarea diverselor sisteme din partea clasică, condițiile de interfață cu alte sisteme includ și obiective de siguranță și trebuie ca proiectanții să demonstreze că ele se îndeplinesc. Pe lîngă aceste aspecte, și în cazul CNE sînt necesare analize și calcule de siguranță care să contribuie la adoptarea de soluții adecvate obiectivelor de disponibilitate urmărite pentru unitățile respective.

În sensul celor arătate mai sus, normativul PE 013, de calcul al siguranței instalațiilor energetice, pune la îndemîna celor interesați elementele metodologice, datele de bază și îndrumările necesare analizelor și calculelor de siguranță. Și în tehnologia de expertizare a lucrărilor din ISPE din punctul de vedere al satisfacerii cerințelor privind siguranța în funcționare, la instalațiile proiectate, este prevăzută verificarea modului în care s-a răspuns la problemele de siguranță în funcționare.

Lucrarea insistă asupra aspectelor analizelor fiabilistice la realizarea obiectivelor de siguranță în funcționare(disponibilitate) la centralele electrice, problemă de maxim interes pentru energetica românească.

1. Obiectivele de diponibilitate pentru unități energetice

Unitățile energetice se construiesc pentru a produce anumite puteri (puteri nominale) și anumite cantități de energie electrică (și termică) anual. Aceasta înseamnă că se contează pe anumite niveluri de disponibilitate de putere și energie, la unitățile energetice. Realizarea efectivă a acestora era asigurată, de regulă, în condițiile proiectării tradiționale, datorită unor condiții favorabile ce existau în trecut (se utilizau cu precădere combustibili superiori în centralele electrice; grupurile erau de puteri unitare mai mici; centralele noi se construiau în ritmuri mai lente și se dispunea de un personal de exploatare și reparații bine pregătit și stabilizat etc.).

Escaladarea puterilor unitare ale grupurilor generatoare, trecerea pe combustibili inferiori și introducerea de materiale și tehnologii noi de fabricație, asimilarea în timp scurt a unei game largi de produse, sînt tot atîția factori care au schimbat substanțial situația. Se constată astăzi că nivelul de siguranță scontat la noile grupuri nu este realizat în exploatare. Caracterizînd siguranța grupurilor energetice prin valoarea coeficientului de opriri forțate (q), constatăm că, atît la noi în țară, cît și în țări dezvoltate, ca S.U.A., performanțele realizate efectiv s-au situat la un nivel mult mai nefavorabil decît se scontase la planificarea sistemelor (fig. 1 și 2).

A devenit deci evident că noile instalații de centrale electrice nu mai pot realiza de la sine nivelurile dorite de siguraţă în funcționare

* Dr. ing. Mircea Ciobanu, ing. Persida Iancovici, ing. Manfred Stein — Institutul de Studii și Proiectări Energetice, București.

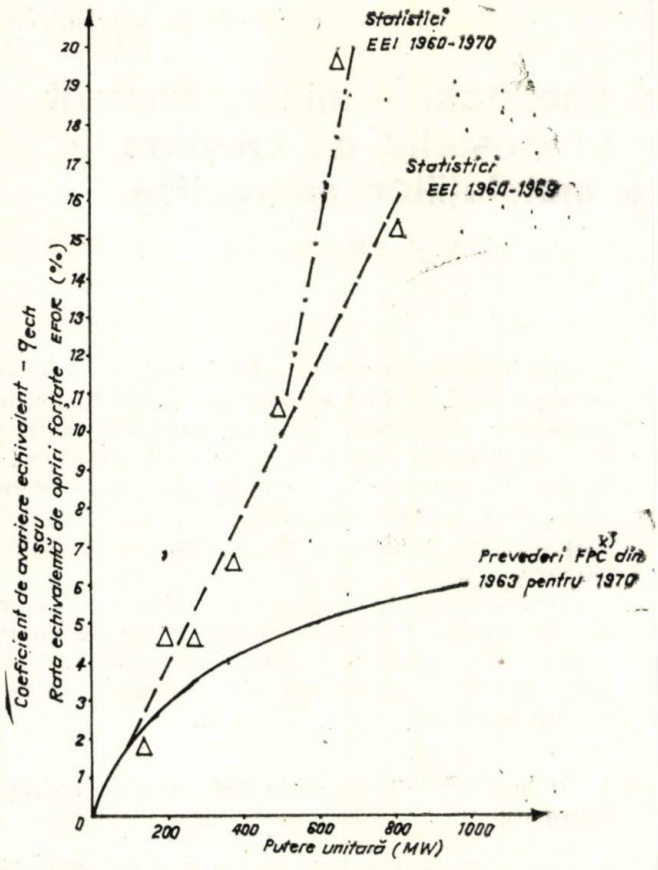


Fig. 1. Coeficientul de avariere în raport cu puterea unitară în S.U.A.
*) Federal Power Comission (Comisia Federală pentru Energie Eectrică).

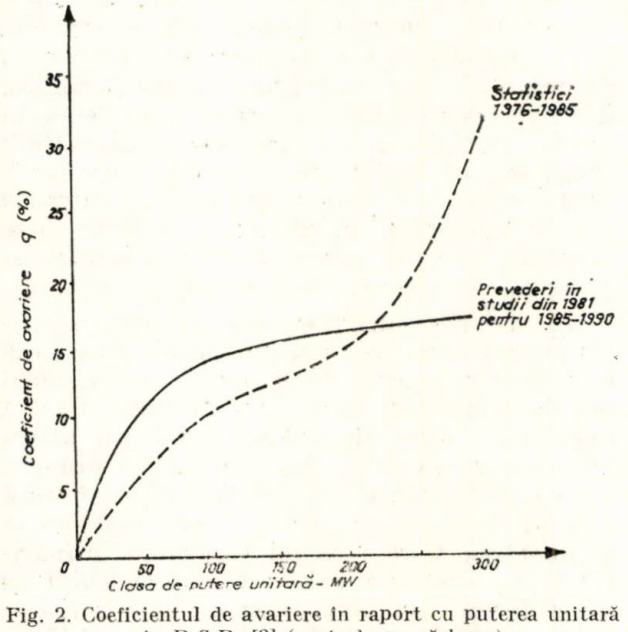


Fig. 2. Coeficientul de avariere în raport cu puterea unitară în R.S.R. [2] (centrale pe cărbune).

decît dacă acestea se implementează în mod sistematic și conștient, prin concepția soluțiilor ce se adoptă pentru noile centrale.

Tot astfel, unitățile energetice existente, care nu realizează disponibilitatea dorită, pot fi perfecționate, urmărindu-se ca ele să ajungă la un nivel superior de disponibilitate.

În aceste scopuri, analizele și calculele de fiabilitate sînt indispensabile.

Se remarcă faptul că, față de soluțiile tradiționale, soluțiile special concepute și selectate pentru a realiza un anumit obiectiv de disponibilitate pe unitatea energetică în ansamblu, pot comporta anumite cheltuieli suplimentare. Acestea se pot justifica, dacă se ia în considerație că disponibilitatea unităților energetice are o valoare economică bine determinată, caracteristică fiecărei categorii de unități energetice și unei anumite perioade de perspectivă (fig. 3) și se fundamentează prin studiile de planificare a dezvoltării centralelor[1,2]. Cu aceeași ocazie, se adoptă și obiectivele de disponibilitate de urmărit pe categorii de unități energetice.

2. Locul, rolul și modul de efectuare a analizelor de fiabilitate la stabilirea soluțiilor de creștere a siguranței în funcționare

Proiectarea noilor centrale sau perfecționarea centralelor existente, în vederea atingerii obiectivelor stabilite de disponibilitate, impune evaluarea, prin calcule probabilistice, a contribuțiilor instalațiilor la indisponibilitatea totală a unității energetice considerate (este vorba de disponibilitatea și indisponibilitatea în energie)[3,4].

Orice soluție avută în vedere va putea fi evaluată și selectată numai dacă satisface obiectivul în legătură cu disponibilitatea, care i-a fost alocat instalației studiate (fig. 4).

La realizarea analizelor și calculelor de fiabilitate, în sensul arătat, sînt necesare o serie de premise și date, astfel:

— să se cunoască obiectivul de disponibilitate urmărit pe ansamblu (centrală, unitate) și defalcarea sa pe subansambluri și instalații;

— să se cunoască valoarea economică a disponibilității, pentru categoria considerată de centrale;

---

1) Iancovici, P., Nistor, M., Ștein, M. *Considerații asupra valorii economice a disponibilității.* Referat prezentat la Conferința de Energetică, IPB, oct. 1986.
2) * * * *Elaborarea unei analize fiabilistice pentru principalele sisteme termoenergetice și electrice ale unui bloc energetic și stabilirea criteriilor de selectare a măsurilor de îmbunătățire a disponibilității.* Studiu ISPE, 1986—1987.
3) Iancovici, P., Anastasiu, D., Roșescu, G. *Considerații privind evaluarea contribuției unor auxiliare la indisponibilitatea unităților energetice.* Referat prezentat la sesiunea de comunicări tehnico-științifice „Cercetarea, proiectarea, construcția și exploatarea noilor echipamente energetice", ICSITEE, mai 1987.
4) Stein, M., Iancovici, P., Anastasiu, D. *Considerații privind aspectele de siguranță ale unor tipuri de conexiuni între echipamentele din centralele electrice.* Referat prezentat la Sesiunea de comunicări tehnico-științifice „Cercetarea, proiectarea, construcția și exploatarea noilor echipamente energetice", ICSITEE, mai 1987.

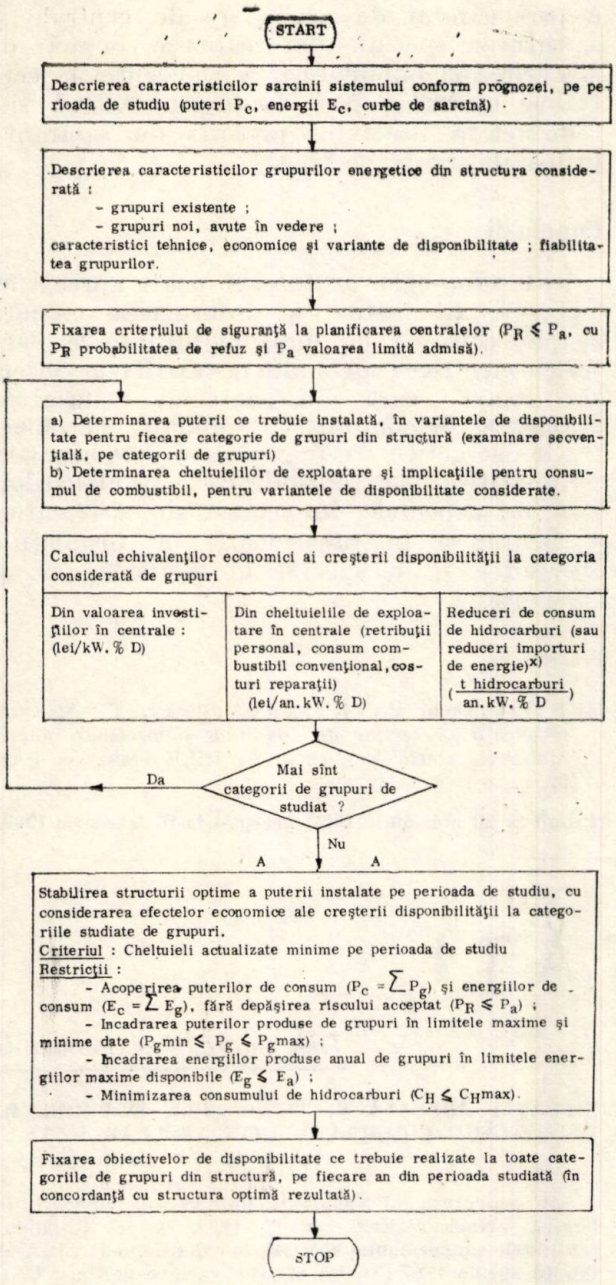


Fig. 3. Schema logică pentru stabilirea de echivalenţi economici ai disponibilităţii şi fixarea de obective de disponibilitate pe grupuri.

*) sau daune la limitările de consum.

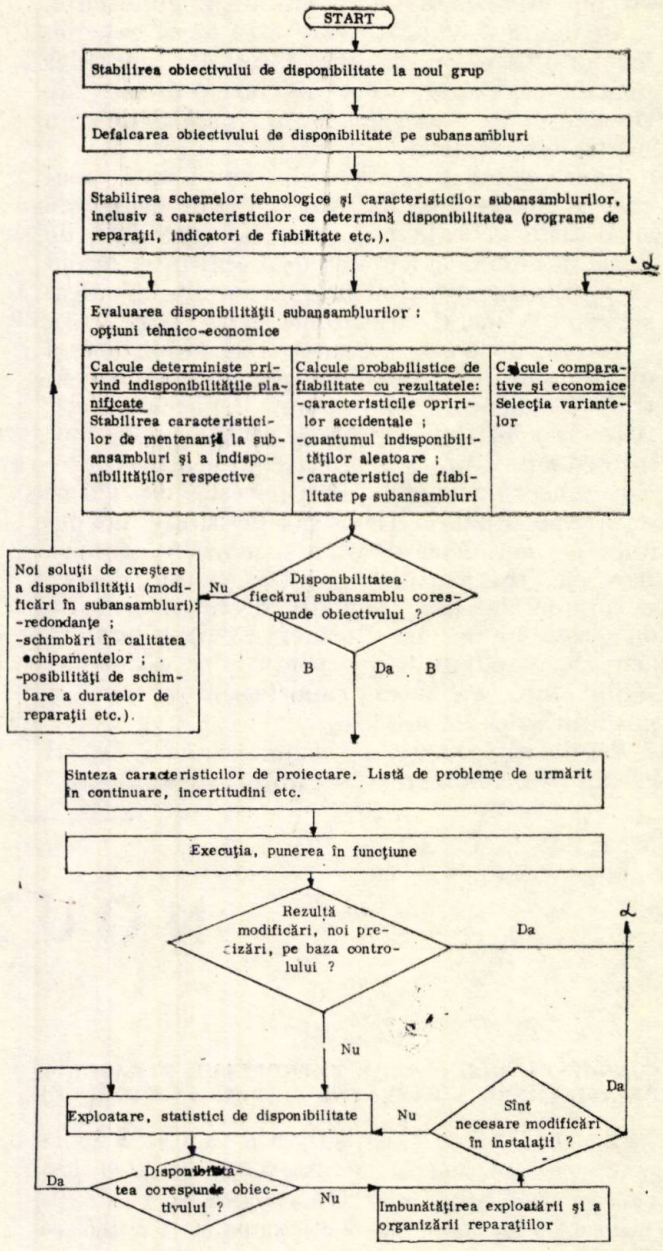


Fig. 4. Organigrama prognozei disponibilităţii grupurilor noi.

— să se cunoască funcţionalitatea schemelor instalaţiilor studiate, cu consecinţa, pentru unitatea energetică, a ieşirilor din funcţiune ale echipamentelor ce compun instalaţia studiată ;

— să se dispună de date de bază privind parametrii de fiabilitate şi mentenabilitate şi nevoile de reparaţii planificate ale echipamentelor din schema studiată ;

— să se dispună, pentru instalaţiile existente, de date statistice privitoare la contribuţiile instalaţiilor şi echipamentelor din centrală, la indisponibilitatea (în energie) a unităţilor energetice ;

— să se poată obţine, la nevoie, informaţii detaliate asupra cauzelor ieşirilor din funcţiune ale echipamentelor, structurii duratelor de reparaţii şi modului de efectuare a reparaţiilor în instalaţii ;

— să se dispună de metode de calcule fiabilistice şi de un personal sensibilizat, capabil să efectueze calcule şi analize de fiabilitate.

În afara tuturor acestor factori, se subliniază că este de importanţă capitală să existe o hotărîre la nivel corespunzător şi mijloacele

materiale necesare pentru urmărirea realizării obiectivelor de disponibilitate cunoscute.

În figura 4 se arată care este locul calculelor fiabilistice în studiul și selecția soluțiilor pentru realizarea unor niveluri prescrise de siguranță în funcționare la instalațiile din centralele electrice.

Considerînd toți factorii enumerați mai sus, se constată că ISPE dispune de programe și metode de calcul și de o serie de date de bază, necesare calculelor de fiabilitate, avînd ca sprijin principal și normativul de calcul al siguranței instalațiilor energetice (PE 013).

Datele de bază, parametrii de fiabilitate și mentenabilitate pentru echipamentele din centrale termoelectrice, precum și datele referitoare la contribuțiile instalațiilor la indisponibilitatea unităților energetice, deși într-o oarecare măsură asigurate, mai necesită de fiecare dată aprofundări. De altfel se simte nevoia unor perfecționări chiar în sistemul de consemnare și transmitere a informațiilor despre evenimentele din centrale, deoarece o serie de evenimente cu influență considerabilă asupra disponibilității centralelor electrice, rămîn încă în afara raportărilor și deci a posibilităților de analiză.

Pe de altă parte, se semnalează și faptul că nu s-a realizat o sensibilizare suficientă a personalului de proiectare de centrale și a tuturor specialiștilor care se ocupă de urmărirea și îmbunătățirea siguranței la centralele electrice, față de implementarea sistematică a nivelului prescris de siguranță în instalațiile respective.

Concluzii

În lumina celor arătate, se poate aprecia că analizele fiabilistice și informarea corectă asupra cauzelor de indisponibilitate la centralele electrice (sau la alte instalații energetice) sînt factori care pot contribui esențial la atingerea disponibilității scontate la obiectivele energetice. Pe lîngă aceasta este necesară și pregătirea și sensibilizarea specialiștilor, față de aspectele implementării sistematice a siguranței în funcționare în instalațiile energetice și în special în centrale noi și existente.

Bibliografie

[1] Billinton, R., Krasnobedski, T. *Aplicarea practică a concepțiilor de fiabilitate și mentenabilitate la proiectarea centralelor electrice.* În: IEEE Trans. vol. PAS, 92, nr. 6/1973.

(Primit la 26 noiembrie 1987, acceptat la 16 februarie 1988)

NOUTĂȚI

Din energetica mondială

CONGRESUL MONDIAL AL PETROLULUI, STRATEGIA DE ASIGURARE A BAZEI ENERGETICE A VIITORULUI

La Huston (Statul Texas, S.U.A.) a avut loc în aprilie 1987, Congresul Mondial al Petrolului consacrat problemelor tehnologiilor avansate în prospectarea și extracția țițeiului. În programul Congresului au intrat 11 secțiuni,pe teme ca: metodele avansate de prospectare a zăcămintelor de petrol; analiza tehnico-economică a extracției prin metoda „self"; noi metode de foraj; uleiurile grele; bitumurile naturale, uleiurile de șist; combustibilul pentru automobile și lubrifianții viitorului; perspectivele de dezvoltare a petrochimiei și purificării petrolului; resursele energetice pentru înlocuirea petrolului și a gazelor naturale; transportul și dezvoltarea producției petrolului și a produselor din petrol. În articolul publicat în „Pétrole informations" 1987, nr. 1632, 68—69 (engl.) se dă o listă de 16 articole ale delegației franceze, precum și temele a opt referate, prezentate la ședințele plenare de către delegații din S.U.A., Arabia Saudită, Marea Britanie, Olanda, R.F.G., U.R.S.S. și Japonia.

(După „Referativnii jurnal" 22, Energhetika vol. general nr. 10/1987 poz. 10 T 23)

SITUAȚIA ACTUALĂ ȘI TENDINȚELE ÎN PROBLEMA DEPOZITĂRII COMBUSTIBILULUI NUCLEAR UZAT (CNU)

Sub semnătura lui Nakamura Iosinori ș.a. publicația japoneză „Nuclear Engineering" 1987, 33, nr. 8, publică rezultatele simpozionului specialiștilor din Japonia și S.U.A. din 13 aprilie 1987 (Tokio) în problemele depozitării CNU.

S-au stabilit aici obiectivele cercetărilor comune:

— păstrarea în siguranță a CNU, elaborarea tehnologiei de transport a CNU, prezentarea unor date experimentale și analitice. S-au stabilit totodată și direcțiile schimbului de informații.

În S.U.A. s-au elaborat următoarele măsuri în domeniul CNU: în prezent păstrarea CNU se face pe teritoriul CNE, dar din 1998 se preconizează păstrarea lui în depozite, iar din anul 2000 — îngroparea lor.

După unele prognoze, în anul 2000 volumul de CNU de pe teritoriul CNE va fi de circa 5000 t U.

Se presupune că durata de păstrare a CNU în depozite va fi de 5 ani, iar durata de exploatare a unui depozit de 40 de ani. Au fost stabilite etapele programului de creare a depozitelor și cheltuielile anuale de exploatare a lor pentru 40 de ani.

În Japonia, în legătură cu faptul că aici nu există rezerve de U, se acordă prioritate prelucrării complete a CNU.

Sînt expuse principalele direcții ale eforturilor comune de cercetare în problemele CNU pînă în anul 1995.

(După „Referativnii jurnal" 22, Energhetika, vol. general, nr. 11/1987, poz. 11 U 438)

Calculul supratensiunilor atmosferice la căderea trăsnetului pe conductorul de protecție cu considerarea descărcării corona de impuls

Dr. ing. Sorin Munteanu, prof. dr. ing. Gleb Drăgan, ing. Ioan Lungu, ing. Liviu Drăgan *

Descriptori: supratensiuni atmosferice, descărcări corona

Introducere

Lucrarea se înscrie în contextul preocupărilor actuale de determinare cu o cît mai mare exactitate a formei undelor de supratensiune atmosferică ce solicită izolația liniilor electrice aeriene de transport. În cazul analizat aici, lovitură de trăsnet pe mijlocul conductorului de protecție, aplicarea metodei E.M.T.P. (Dommel) pentru calculul propagării undelor, introducerea conceptului de impedanță caracteristică instantanee și a parametrului de cuplaj dinamic conduc la obținerea unor forme de undă de supratensiune atmosferică ce reproduc mai exact solicitările reale. Linia electrică aeriană de transport analizată este prevăzută cu două conductoare de protecție.

1. Prezentarea metodei E.M.T.P.

Metodele de studiu al proceselor tranzitorii pot fi analogice sau numerice. Dezvoltarea tehnicilor moderne de calcul au favorizat punerea la punct a unor modele numerice din ce în ce mai perfecționate și mai elaborate. Metodele numerice în domeniul timp discretizează ecuațiile reprezentînd comportamentul diferitelor elemente ale rețelei. La fiecare pas de timp se rezolvă ansamblul ecuațiilor astfel încît să se cunoască valoarea fiecăreia dintre variabile ca apoi să se reinițializeze sistemul de ecuații. O astfel de metodă este și cea pusă la punct de H. W. Dommel; ea se amintește în literatura de specialitate ca metoda E.M.T.P. [1].

Această metodă izbutește să dea o soluție generală pentru determinarea răspunsurilor în timp ale unor regimuri electromagnetice tranzitorii într-o rețea mono- sau multifilară cu parametri concentrați sau distribuiți. Printre avantajele și caracteristicile metodei se pot enumera:

— includerea în schema de calcul a neliniarităților;

— acceptarea oricărui număr de comutări în regimul tranzitoriu în concordanță cu criteriile specificate de comutare;

— start posibil de la orice condiție inițială diferită de zero, flexibilitate mare în alegerea formelor de undă de tensiune și de curent.

Ca dezavantaje se amintesc:

— timpul relativ mare de calcul;

— precizie limitată datorită integrării prin metode numerice;

— alegerea pasului de calcul ce să asigure stabilitatea numerică, mai ales cînd schema de calcul nu cuprinde inductivități sau capacități concentrate, se face prin încercări și poate dura mult.

Calculatorul numeric nu poate urmări continuu desfășurarea fenomenelor tranzitorii, ci poate reține doar secvențe din desfășurarea lor la intervale discrete de timp. O astfel de discretizare poate conduce la erori de trunchiere și, în final, la instabilitate numerică. De aceea s-a ales pentru integrarea ecuațiilor diferențiale ordinare ale inductivităților și capacităților concentrate regula de integrare prin metoda trapezelor. Ramurile cu parametri uniform distribuiți se presupun fără pierderi, astfel încît se poate aplica metoda caracteristicilor (a lui Bergeron) care împreună cu regula de integrare prin metoda trapezelor pot fi combinate într-un algoritm generalizat, capabil să rezolve regimuri tranzitorii în orice rețea cu parametri distribuiți sau concentrați.

Pentru situația noastră de fapt, se consideră o linie lungă fără pierderi, cu inductivitatea L' și capacitatea C' pe unitatea de lungime. Rezolvarea ecuațiilor telegrafiștilor conduce la următorul sistem de ecuații pentru condiții inițiale nule:

$$\begin{cases} u(x, t) + z \cdot i(x, t) = 2\, z \cdot f_1(x - v_f \cdot t), & (1\ a) \\ u(x, t) + z \cdot i(x, t) = 2\, z \cdot f_2(x + v_f \cdot t), & (1\ b) \end{cases}$$

unde mărimea z este impedanța caracteristică a liniei fără pierderi:

$$z = \sqrt{\frac{L'}{C'}}, \qquad (2\ a)$$

iar mărimea v_f este viteza de fază și are expresia:

$$v_f = \frac{1}{\sqrt{L'C'}}. \qquad (2\ b)$$

*Dr. ing. Sorin Munteanu, prof. dr. ing. Gleb Drăgan, ing. Ioan Lungu — Facultatea de Electrotehnică și Energetică, Institutul Politehnic București, ing. Liviu Drăgan — Trustul Antreprinză Generală Energomontaj București.

Se observă că expresia $u(x, t) + z \cdot i(x, t)$ este constantă dacă mărimea $x - v_f \cdot t$ rămîne constantă, iar expresia $u(x, t) - z \cdot i(x, t)$ este la rîndul ei constantă dacă mărimea $x + v_f \cdot t$ este și ea constantă (cele două mărimi $x - v_f \cdot t =$ constant și $x + v_f \cdot t =$ constant se numesc caracteristicile ecuațiilor diferențiale). În figura 1 *a* se reprezintă schematic o linie monofazată de lungime l, cele două capete fiind notate cu 0 și, respectiv, l. Atunci, timpul de propagare τ pe linia de lungime l va fi :

$$\tau = \frac{l}{v_f} = l\sqrt{L'C'}. \tag{3}$$

Punînd condiția ca valoarea expresiei $u(x, t) + z \cdot i(x, t)$ în punctul 0 și la timpul $t - \tau$ să rămînă aceeași pentru punctul l și la timpul t, se obține după prelucrările necesare :

$$I_l(t) = 2 \cdot \frac{u(0, t)}{z} - I_0(t - \tau), \tag{4}$$

unde :

$$I_0(t - \tau) = \frac{u(l, t - \tau)}{z} - i(l, t - \tau). \tag{5}$$

În figura 1 *b* se reprezintă rețeaua echivalentă ce descrie pe deplin linia electrică aeriană fără pierderi. Din punct de vedere topologic cele două capete 0 și l nu mai sînt conectate, condițiile de funcționare la unul din capete se obțin indirect și cu o întîrziere egală cu timpul de propagare τ, funcție de condițiile de la celălalt capăt, prin intermediul surselor echivalente de curent I_l și I_0.

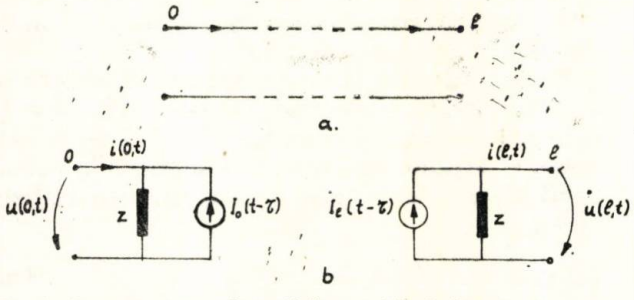


Fig. 1. Reprezentare schematică a unei linii electrice aeriene.

Presupunînd cazul mai multor linii lungi interconectate, se stabilesc pentru fiecare dintre ele rețele echivalente, rezultînd în final o rețea complexă. Din rezolvarea ecuațiilor nodale stabilite pe această rețea finală vor rezulta tensiunile la noduri.

În figura 2 se prezintă schema echivalentă a unei laturi, unde notațiile sînt cele cunoscute. Utilizînd prezentarea matricială se poate scrie [2] :

$$[U] = [Z] \cdot \{[I] + [J]\} \tag{6}$$

sau

$$[I] + [J] = [Y] \cdot [U] \tag{7}$$

cu

$$[Y] = [Z]^{-1}. \tag{8}$$

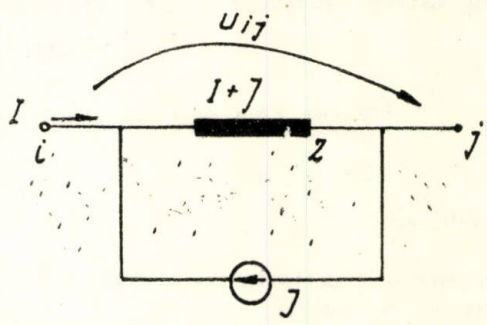


Fig. 2. Schema echivalentă a unei laturi.

Introducînd în calcule matricea $[A]$ de incidență laturi-noduri și efectuînd înlocuirile necesare, se obține în final expresia matricii tensiunilor la noduri de forma :

$$[U_N] = [Y_N]^{-1} \cdot [J_N], \tag{9}$$

unde matricea curenților în noduri $[J_N]$ are expresia :

$$[J_N] = [A] \cdot [Y] \cdot [U], \tag{10}$$

iar matricea admitanțelor nodale este :

$$[Y_N] = [A] \cdot [Y] \cdot [A]_t. \tag{11}$$

Valorile tensiunilor nodale obținute cu relația (11) pentru un pas de timp Δt se reține, recalculîndu-se, după timpii respectivi de propagare $\tau_i = n_i \cdot \Delta t$ (pentru linia i cu n_i pași de timp), noile valori ale surselor echivalente de curent din relația (4) pentru fiecare linie considerată separat. Se reinițializează datele de intrare, calculul terminîndu-se după un t_{max} convenabil ales, conform organigramei programului de calcul prezentată în figura 3.

2. Influența descărcării coronа asupra propagării undelor de supratensiune atmosferică

Este bine cunoscut faptul că apariția descărcării corona de impuls modifică impedanța caracteristică a liniei, coeficientul de cuplaj între conductoare și timpul de propagare a undei de supratensiune ce a provocat apariția descărcării. Studii experimentale îndelungate și laborioase, studii în care specialiștii români au avut o participare importantă*, au condus la obținerea unor expresii de calcul analitice ale mărimilor afectate de descărcarea corona. Pentru impedanța caracteristică instantanee corona avem :

$$Z_{0c} = Z_0 \cdot \frac{B + 1}{2\sqrt{B}} \left(\frac{u}{U_0}\right)^{\frac{1 - B}{2}}, \tag{12}$$

* Drăgan, G., Lungu, I. *Parametrii LEA de transport la înaltă tensiune cu considerarea descărcării corona.* Conferința Națională de Energetică, București, nov., 1983.

unde U_0 este tensiunea de apariție a descărcării corona, iar B sînt coeficienții determinați experimental pentru cele două polarități:

$$B_+ = 1{,}3 \cdot d_0^{0{,}153}; \quad B_- = 1{,}21 + 0{,}034\, d_0, \quad (13)$$

cu d_0 diametrul conductorului în centimetri.

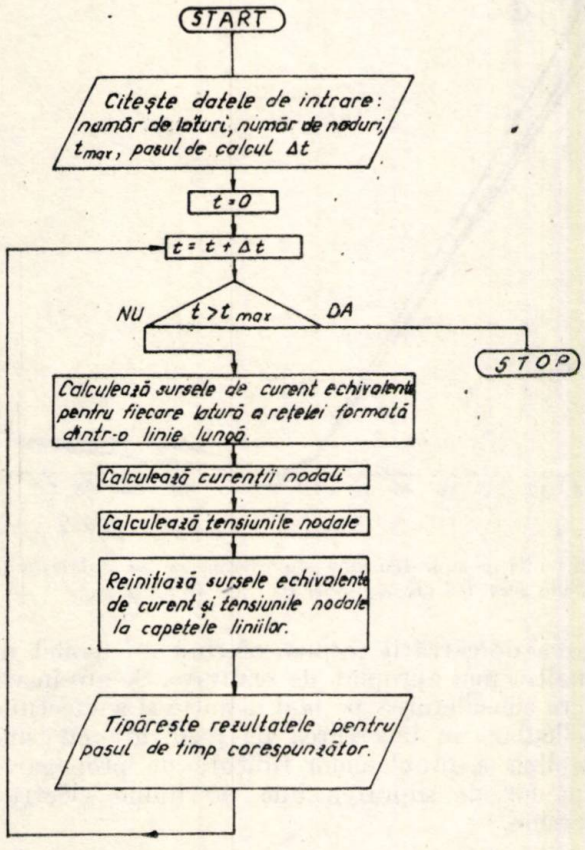


Fig. 3. Organigrama programului de calcul prin metoda E.M.T.P.

Coeficientul de cuplaj ce variază cu tensiunea u la care este supus conductorul devine un parametru de cuplaj dinamic și are expresia:

$$k_{cd} = \frac{120\sqrt{B}}{B+1} \cdot \frac{1}{Z} \cdot \left(\frac{u}{U_0}\right)^{\frac{B-1}{2}} \cdot \ln\frac{d_2}{d_1}, \quad (14)$$

unde d_2 și d_1 sînt distanțele dintre un conductor și imaginea celuilalt, respectiv, dintre cele două conductoare.

Pentru studierea modului în care influențează descărcarea corona asupra propagării undelor de supratensiune atmosferică pe conductorul de protecție, se propune următorul algoritm de calcul. Deschiderile considerate se împart în porțiuni de linii lungi, egale între ele ca lungime și, pentru început, cu impedanțe caracteristice egale cu cea a conductorului de protecție. Se calculează la fiecare pas de timp tensiunile din fiecare nod. În momentul în care tensiunea calculată într-un nod depășește tensiunea critică de apariție a descărcării corona U_0, se calculează cu expresia (12) impedanța caracteristică instantanee corona ce se conectează în acel nod. În nodurile în care a apărut descărcarea corona se recalculează curenții nodali și apoi noile tensiuni nodale ale tuturor nodurilor din rețea. Se reia calculul pentru un nou pas de timp pînă la epuizarea timpului de calcul.

3. Rezultate obținute. Concluzii

Practic, jumătate din loviturile de trăsnet ce cad pe o linie electrică aeriană se pot considera că ating conductoarele de protecție. Cel mai defavorabil caz din punctul de vedere al locului unde cade trăsnetul este chiar mijlocul acestuia: timpul necesar ca undele de tensiune reflectate în vîrful stîlpilor adiacenți să ajungă în punctul lovit este maxim și astfel creșterea de tensiune în punctul de impact este maximă. Studiul s-a efectuat considerînd că trăsnetul lovește mijlocul unui singur conductor de protecție. Cu o precizie suficientă*, se va considera numai cîte o deschidere adiacentă în stînga și în dreapta deschiderii lovite.

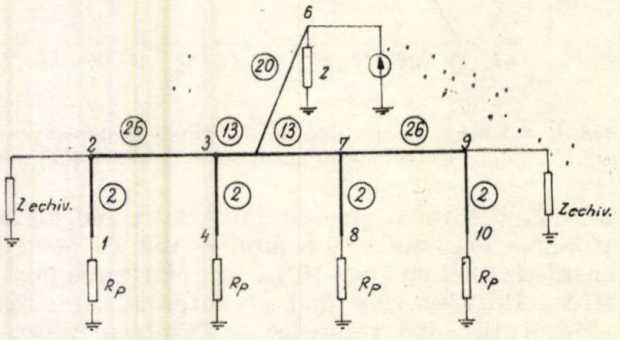


Fig. 4. Configurația schemei de calcul pentru aplicarea metodei E.M.T.P. la determinarea supratensiunilor atmosferice.

Configurația schemei de calcul se prezintă în figura 4. Rezultatele bune obținute pentru calculul supratensiunii atmosferice cînd trăsnetul lovește vîrful unui stîlp**, recomandă menținerea ipotezelor de reprezentare a elementelor schemei. Astfel, canalul trăsnetului se reprezintă ca o linie lungă cu impedanța caracteristică echivalentă de 300 Ω; sursa de curent se presupune că generează un curent de trăsnet de formă rampă cu spate infinit lung. Stîlpii s-au reprezentat ca linii lungi cu impedanța caracteristică de 150 Ω, conectate la rezistențele electrice ale prizelor de legare la pămînt.

În figura 5 se prezintă pentru comparație undele de supratensiune ce se stabilesc la locul de impact în condițiile apariției descărcării corona, pentru cele două polarități ale trăsnetului. Unda curentului de trăsnet s-a considerat cu o pantă de 13 kA/μs și de amplitudine 31 kA. Față de valorile undei de supratensiune calcu-

* Munteanu, S. *Metode de studiu al supratensiunilor atmosferice induse și datorită loviturilor de trăsnet directe.* Referat de doctorat, I.P.B., 1982.

** Munteanu, S., Drăgan, L., Golovanov, N., Postolache, P. *Studiul propagării undelor de supratensiune atmosferică într-o configurație complexă.* Sesiunea de comunicări științifice, IRE Suceava, 1985.

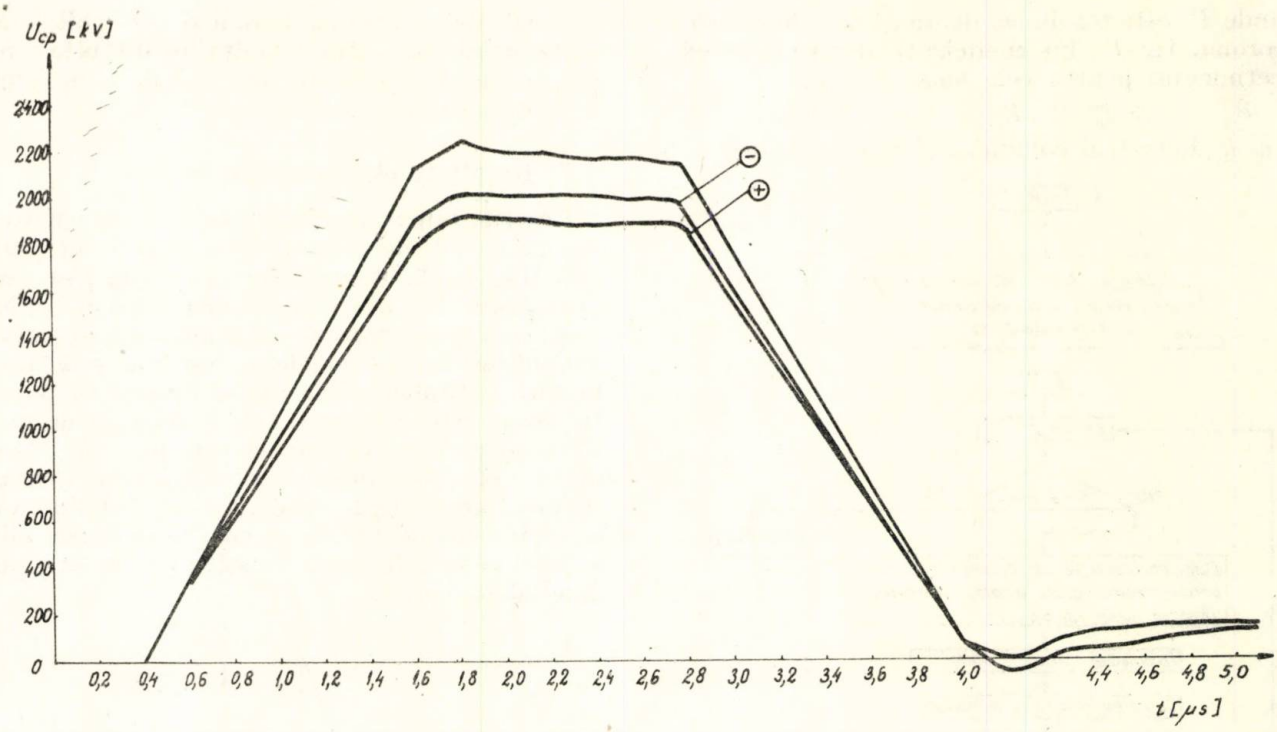


Fig. 5. Studiul influenței descărcărilor corona de impuls asupra formei undei de supratensiune atmosferică ce se stabilește la mijlocul conductorului de protecție atunci cînd trăsnetul cade în acest loc ($I_{0\,max}$ = 31 kA ; a = 13 kA μ*s).

late fără corona, pentru polaritatea negativă valoarea maximului tensiunii se reduce pentru cazul analizat cu circa 10%. La polaritatea pozitivă reducerea este mai accentuată, cu circa 15%. Întîrzierea frontului se datorește propagării, pe o lungime egală cu cea a unei deschideri, a undei de tensiune; valorile obținute se regăsesc în datele prezentate în [3].

Dacă interesează studiul posibilității producerii unei descărcări disruptive a intervalului de aer dintre conductorul de protecție lovit și un conductor activ apropiat, pentru calculul tensiunii ce solicită izolația trebuie determinat parametrul de cuplaj dinamic. Reducerea solicitării izolației față de cazul neconsiderării corona pentru polaritatea negativă, respectiv pozitivă, s-a calculat ca fiind de 4,7 % și 10%.

În concluzie, metoda propusă are avantajul calculului fenomenelor de propagare cu considerarea descărcării corona, oferind un model de analiză mai apropiat de realitate. Se are în vedere considerarea pe mai departe și a efectului pelicular, în încercarea de rezolvare cît mai deplină a problemelor ridicate de propagarea undelor de supratensiune pe liniile electrice aeriene.

Bibliografie

[1] Dommel, H. V. *Digital computer solution of electromagnetic transients in single and multiphase network.* In : IEEE Trans on PAS, vol. 88, pp. 388 – 399, april, 1969.

[2] Bercovici, M., Arie, A., Poeată, A. *Rețele electrice. Calculul electric.* Ed. Tehnică, București, 1974.

[3] Gary, C., Timotin, A., Cristescu, D. *Prediction of surge propagation influenced by corona and skin effect.* In : IEE Proceedings, vol. 130, Pt. A., no. 5, July 1983.

(Primit la 30 octombrie 1987, acceptat la 27 noiembrie 1987)

Perfecționarea construcției regulatorului automat pentru bobine de stingere

Ș.l. dr. ing. Mircea Gușă, prof. dr. ing. Nicolae Gavrilaș *

Descriptori: tratarea neutrului, bobine de stingere, reglare automată

Introducere

Utilizarea reglării automate a bobinelor de stingere, existente încă în mare număr în rețelele de medie tensiune din sistemul energetic național, reprezintă un mijloc de mărire a eficienței acestora în procesul de înlăturare a defectelor monofazate trecătoare. Dată fiind cerința reglării permanente a bobinei de stingere în concordanță cu mărimea capacității față de pămînt a rețelei, în condițiile unor comutații frecvente a liniilor, automatizarea reglării constituie singura cale de a menține acordarea corectă a acestora. Se poate constata că acest procedeu este folosit și în alte țări în care electroenergetica cunoaște niveluri ridicate de dezvoltare [1, 2, 3].

Regulatorul automat al bobinei de stingere trebuie să asigure realizarea unor funcțiuni specifice destinației sale, precum și să îndeplinească unele cerințe generale pentru aparatura montată în sistemul energetic. Astfel, ca funcțiuni specifice, se pot cita:

— reglarea bobinei în timpul funcționării normale a rețelei, astfel încît la apariția defectului monofazat aceasta să aibă eficiență optimă;

— posibilitatea de a alege modul de lucru al bobinei, fie la acordare perfectă, fie la supracompensare;

— blocarea funcționării reglajului în timp ce în rețea există defecte monofazate;

— insensibilitate la perturbații trecătoare, care se manifestă prin abateri de la regimul simetric al tensiunilor și curenților în rețea.

Dintre cerințele comune se pot enumera: simplitate constructivă maxim posibilă, fiabilitate, gabarit și cost cît mai reduse, consum redus de energie, realizare cu materiale indigene etc.

Preocupări pentru realizarea unui asemenea aparat există de mai multă vreme la catedra de energetică a Institutului Politehnic din Iași. Un prim prototip a fost realizat în anul 1979**, iar ulterior o variantă omologată de CIRE în anul 1982. Fabricarea acestor aparate a început în anul 1983, în atelierul de microproducție al catedrei, și a continuat pînă în prezent într-un ritm mediu de 25 aparate pe an. În toată această perioadă perfecționarea aparatului a constituit o preocupare permanentă în vederea sporirii fiabilității și adaptării mai bune la cerințele exploatării. Fără a afecta principiul de funcționare, aceste perfecționări au avut ca obiectiv posibilitatea de a funcționa cu un semnal de intrare cît mai redus, de a permite alegerea în limite mai largi a întîrzierii la acționare, de a funcționa cu diferite sisteme de tensiuni de referință și altele. În ultimul timp asemenea preocupări au făcut obiectul unei colaborări cu ICEMENERG***, în cadrul căreia problemele respective au fost prezentate specialiștilor din exploatare. Asupra acestor perfecționări constructive se fac referiri în cele ce urmează.

1. Principiul de funcționare și schema bloc

Sursa de informații privind starea de acordare a bobinei de stingere o constituie tensiunea de deplasare a neutrului rețelei. Aceasta, fiind o mărime fazorială, poate fi caracterizată prin amplitudine și fază, fiecare din acestea avînd mărimea dependentă de gradul de acordare al bobinei.

Considerînd o rețea trifazată care prezintă o nesimetrie naturală monofazată a capacităților față de pămînt, caracterizată prin parametrul $m = C_0'/C_0$ și factorul de amortizare d, care este aproximativ egal cu factorul de pierderi dielectrice al izolației rețelei, tensiunea de deplasare a neutrului în situația tratării acestuia cu bobină de stingere este:

$$\frac{U_N}{U_f} = \frac{j(m-1)}{3d + j(2+m-3q)}. \qquad (1)$$

Rezultă modulul tensiunii de deplasare a neutrului

$$\frac{U_N}{U_f} = \frac{m-1}{\sqrt{(3d)^2 + (2+m-3q)^2}} \qquad (2)$$

și faza acesteia

$$\varphi_N = 90 - \operatorname{arc\,tg} \frac{2+m-3q}{3d} \qquad (3)$$

Cu q s-a notat gradul de compensare a curentului capacitiv I_c prin curentul inductiv al bobinei de stingere I_l, $q = I_l/I_c$.

---

* Ș.l. dr. ing. Mircea Gușă, prof. dr. ing. Nicolae Gavrilaș — Facultatea de Electrotehnică — Institutul Politehnic Iași.

** Gușă, M. Gavrilaș, N. *Reglarea automată a bobinelor de stingere în rețelele de medie tensiune ale IRE Suceava.* Contract de cercetare I.P. Iași, 1979.

*** Gușă, M. *Perfecționarea construcției și exploatării regulatorului automat pentru bobinele de stingere, RABS-3.* Contract de cercetare I.P. Iași, 1986.

Ca urmare, se pot realiza, în principiu, regulatoare automatate bazate pe variația amplitudinii $U_N(q)$ sau a fazei $\varphi_N(q)$ tensiunii de deplasare a neutrului; de asemenea, se pot folosi ambele informații în același aparat.

În figurile 1 *a* și respectiv 1 *b* sînt prezentate formele tipice ale funcțiilor $U_N(q)$ și $\varphi_N(q)$, rezultînd și modul în care aceste funcții sînt influențate de parametrii m și d.

Atît gradul de nesimetrie, cît și factorul de pierderi dielectrice au influență vizibilă; totuși, în cazul funcției $\varphi_N(q)$ influența factorului m este mult mai slabă decît influența lui d. Mărimea acestor parametri variază de la o rețea la alta, sau chiar în cadrul aceleiași rețele, dacă se modifică configurația acesteia prin conectări sau deconectări ale unor linii. Acest fapt are influență asupra procesului de reglare automată. Astfel, în cazul reglării după valoarea U_N, unica posibilitate constă în urmărirea maximului tensiunii; rezultă un proces de reglare extremal. În cazul reglării după valoarea φ_N, deoarece toate curbele se intersectează practic în punctul $q = 1$, iar sensul modificării fazei este diferit în cazul subcompensării și al supracompensării, se poate realiza un proces de reglare cu prescrierea punctului de funcționare. Acest tip de regulator se poate realiza cu mijloace mai simple.

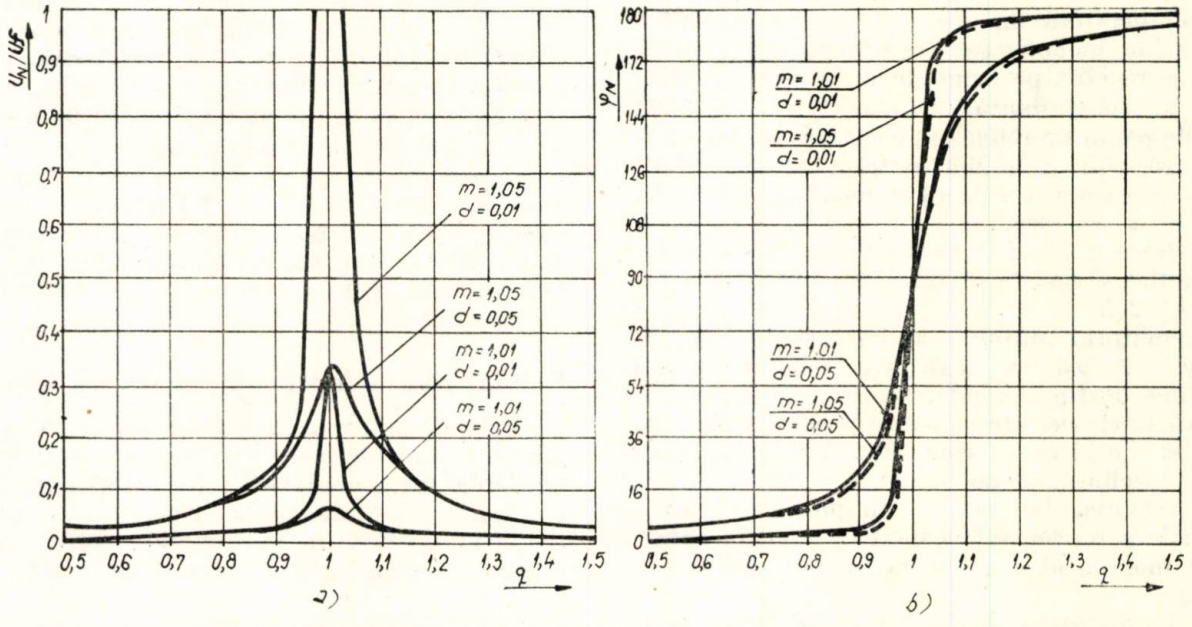


Fig. 1. Valoarea efectivă U_N și faza φ_N ale tensiunii de deplasare a neutrului.

Schema bloc a regulatorului automat, cuprinzînd și ultimele modificări, este dată în figura 2.

Aparatul primește la intrare două semnale: tensiunea preluată de la înfășurarea de măsură a tensiunii, existentă în construcția bobinei de stingere și un sistem de tensiuni trifazat din care se va selecta o tensiune de fază sau de linie, care va servi drept reper fix pentru determinarea sensului și mărimii abaterii fazei tensiunii de deplasare a neutrului de la poziția corespunzătoare acordării corecte. Cele două semnale pot avea amplitudini variabile: U_N în limite foarte largi (fig. 1 *a*), iar tensiunea de referință poate varia între tensiunea de fază și tensiunea de linie, o altă variație fiind introdusă de un circuit **RC** pentru defazare fină, existent în blocul de intrare corespunzător (**2**). Pentru ca aceste variații să nu aibă influență asupra blocului de detectare a defazajului (**3**), ele

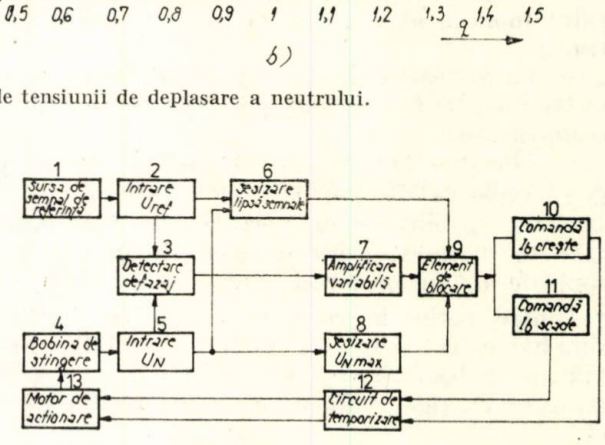


Fig. 2. Schema bloc a regulatorului automat.

sînt prelucrate în blocurile de intrare (**2** și **5**) prin amplificare foarte mare și limitare a amplitudinii, astfel că se vor transforma în semnale dreptunghiulare, care vor păstra frecvența și faza semnalelor de intrare din care provin. Cele două semnale dreptunghiulare se aplică la intrarea blocului de detectare a defazajului (**3**), care emite la ieșire un semnal a cărui polaritate și mărime depind de sensul și mărimea defazajului dintre mărimile de intrare. În continuare, acest semnal poate fi amplificat după necesitățile cu privire la sensibilitatea

aparatului și provoacă acționarea selectivă a blocurilor de comandă pentru reglarea într-un sens (**10**) sau celălalt (**11**) a bobinei de stingere. Acestea, prin intermediul unui bloc de temporizare (**12**), emit comenzi asupra motorului bobinei de stingere (**13**). Dacă, de exemplu, în urma unei comutații în rețea, bobina devine dezacordată, se va emite semnalul de acționare a motorului în sensul în care abaterea fazei tensiunii de deplasare a neutrului se micșorează. Acțiunea regulatorului încetează atunci cînd faza tensiunii de deplasare a neutrului revine la poziția anterioară comutației.

Acțiunea de reglare este blocată în cazul punerilor la pămînt în rețea, în această situație principiul de funcționare nemaifiind valabil. Acest blocaj este realizat de blocul de sesizare a depășirii unei valori prestabilite a tensiunii de deplasare a neutrului (**8**).

Principalele perfecționări introduse în construcția aparatului sînt:

— blocarea funcționării în cazul lipsei unuia sau ambelor semnale de intrare;

— modificarea circuitului de temporizare în sensul lărgirii limitelor de funcționare;

— mărirea sensibilității blocului de intrare pentru tensiunea de deplasare a neutrului;

— adaptarea blocului de intrare pentru tensiunea de referință pentru a putea funcționa și cu sistemul de tensiuni furnizat de celula de măsură.

2. Blocarea funcționării în cazul dispariției semnalelor de intrare

Cele două semnale de intrare folosite de regulatorul automat pot fi afectate de întreruperi în timpul funcționării rețelei. În ceea ce privește tensiunea de referință, această întrerupere poate fi provocată de arderea unei siguranțe datorită consumatorilor racordați la serviciile interne sau la celula de măsură, respectiv de scoaterea de sub tensiune a transformatorului de servicii proprii sau a celulei de măsură. Tensiunea de deplasare a neutrului poate dispărea în mod normal prin deconectarea bobinei sau accidental prin întreruperea unui conductor.

Datorită factorilor mari de amplificare ai circuitelor de intrare și modulului de detectare a defazajului dintre semnalele de intrare prin operația de înmulțire a două semnale periodice, la ieșirea blocului de detectare a defazajului există un semnal și în lipsa uneia dintre mărimile de intrare. Aceasta conduce la o acțiune falsă a regulatorului. Dacă lipsesc ambele mărimi de intrare semnalul fals nu mai apare.

Pentru a evita funcționarea eronată în astfel de situații în schema regulatorului automat (vezi fig. 2) s-a introdus blocul de sesizare a prezenței semnalelor (**6**), a cărui schemă de principiu este dată în figura **3**.

Realizarea acestui bloc necesită rezolvarea unor dificultăți datorate caracteristicilor semnalelor de intrare. Dacă s-ar folosi semnalele aplicate la intrarea regulatorului, nivelul lor variabil nu permite sesizarea corectă a prezenței sau lipsei acestora; dacă se folosesc semnalele de amplitudine constantă furnizate de blocurile

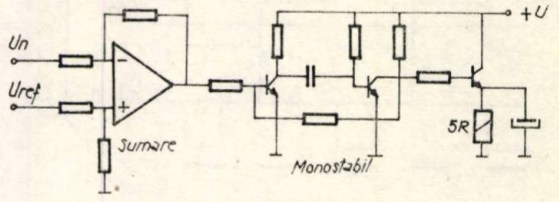


Fig. 3. Schema de principiu a blocului de sesizare a prezenței semnalelor de intrare.

de intrare, disponibilul de putere este insuficient pentru acționarea unui releu. S-a preferat să se folosească avantajul semnalelor de amplitudine constantă, urmînd să se amplifice puterea pînă la nivelul necesar.

Blocul de tensiune minimă cuprinde în primul rînd un sumator realizat cu un amplificator diferențial. La intrările acestuia se aplică semnalele preluate din blocurile de intrare. La ieșirea sumatorului se obține un semnal a cărui amplitudine variază de la dublu la simplu în cazul dispariției uneia dintre tensiunile de intrare. În funcție de starea de acordare a bobinei de stingere, maximul acestui semnal poate fi mai lat sau mai îngust (fig. 4).

Acest semnal nu poate fi folosit în forma menționată pentru a fi amplificat deoarece ar provoca funcționarea însoțită de vibrații a releului. De aceea el va fi folosit pentru excitarea circuitului monostabil, care produce un semnal dreptunghiular cu grad de umplere ridicat, indiferent de forma semnalului rezultat de la sumator. Cu acest semnal se comandă etajul final de amplificare în curent și se acționează releul **5R**. Etajul monostabil nu basculează dacă amplitudinea semnalului la intrarea sa scade la jumătate față de situația normală; acest lucru se întîmplă la dispariția unuia dintre semnalele de intrare. Contactul releului **5R** realizează blocarea funcționării regulatorului automat, fiind intercalat înaintea blocului de comandă.

3. Blocul de temporizare

Între momentele apariției situației de dezacordare a bobinei de stingere și de emitere a comenzii către motorul acesteia se introduce un decalaj pentru a nu acționa acest motor decît în caz de necesitate. Prin această întîrziere (3 — 5 s) se evită ca unele perturbații trecătoare, datorate șocurilor de sarcină, nesimultaneității comutației fazelor la întrerupătoare, să producă reglarea bobinei de stingere, ceea ce nu se justifică din punctul de vedere al compensării curentului capacitiv al rețelei.

Pe lîngă aceasta se mai pune problema funcționării aparatului în cazul rețelelor care au

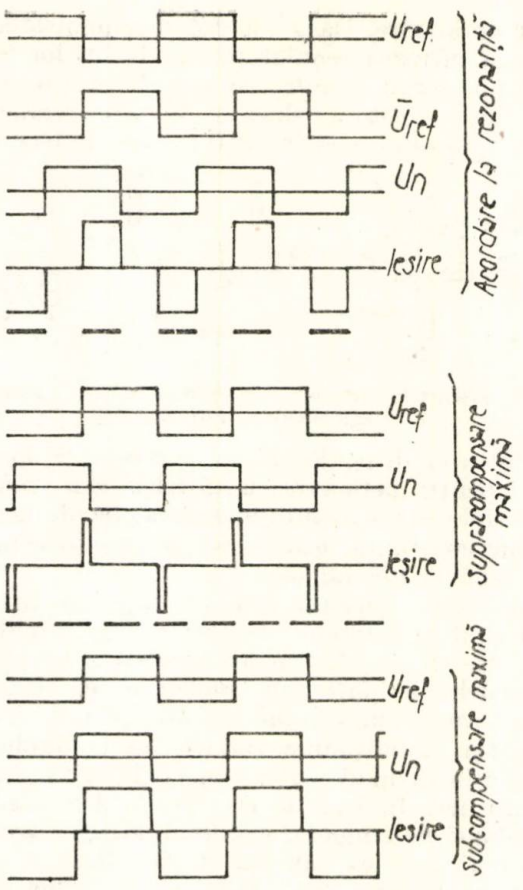


Fig. 4. Funcționarea circuitului sumator.

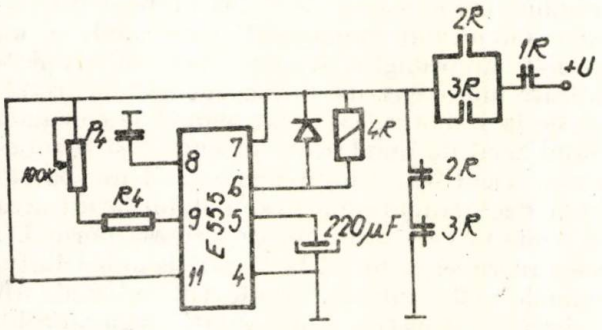


Fig. 5. Schema de principiu a blocului de temporizare.

instalate pe linii dispozitive RAR cu ciclu dublu. Pauza a doua fiind mai lungă decît întîrzierea fixă a regulatorului, acesta comandă bobina de stingere în sensul reacordării impuse de deconectarea liniei. Dacă ciclul al doilea al RAR este eficace, după reconectarea liniei va urma o nouă acordare a bobinei, conform situației inițiale. Deci, se produce o dublă acordare inutilă. Pentru a evita acest fapt s-a înlocuit blocul de temporizare existent cu un altul, avînd limite de reglare mult mai largi, a cărui schemă de principiu este dată în figura 5.

Montajul folosește circuitul integrat E555, care acționează releul **4R** cu o întîrziere față de momentul aplicării tensiunii dată de reglajul potențiometrului **P4**. Rezistența **R4** fixează temporizarea minimă de 3 s. Folosind valorile indicate în schemă, se obține o întîrziere maximă de 25 s, ceea ce depășește durata pauzei a doua a ciclului RAR. Reglarea potențiometrului **P4** se face pe placa frontală a aparatului, ceea ce permite utilizatorului alegerea temporizării conform necesităților din rețeaua proprie.

5. Limitele de variație ale tensiunii de deplasare a neutrului

Tensiunea de deplasare a neutrului variază în limite largi în funcție de gradul de acordare a bobinei de stingere.

Dacă, dintr-o stare de funcționare în care bobina este acordată perfect, se trece, printr-o conectare sau deconectare a unei linii, într-o stare de dezacordare, tensiunea de deplasare a neutrului poate scădea sub limita la care regulatorul automat poate să reacționeze. Această posibilitate depinde de valorile parametrilor **m** și **d** ca și de mărimea dezacordării apărute în rețea, respectiv de amploarea comutației executate. Ca urmare, va apărea o situație în care regulatorul automat nu mai poate funcționa deși este necesar.

Pe de altă parte, asigurarea funcționării regulatorului automat pentru o gamă foarte largă de variație a tensiunii de deplasare a neutrului este dificilă. De exemplu, aparatul care face obiectul acestei lucrări poate funcționa între limitele de 0,1 — 30 V ale tensiunii de intrare, ceea ce înseamnă un raport de 300 între valorile extreme. A coborî mai mult limita inferioară înseamnă a introduce amplificări foarte mari în schema de principiu, ceea ce devine de la un punct dezavantajos, deoarece semnalele parazite pot afecta funcționarea corectă.

Se pune astfel problema de a alege limita inferioară a gamei admisibile de variație a U_N astfel încît să nu se complice schema de principiu în mod inutil și totodată să se asigure funcționarea corectă a aparatului.

Se definește această limită inferioară prin :

$$a = \frac{U_N}{U_f} \cdot \qquad (4)$$

Extrăgînd din relația (2) mărimea q pentru care se atinge această limită se obține :

$$q_1 = \frac{1}{3}\left[2 + m \pm \sqrt{\left(\frac{m-1}{a}\right)^2 - (3d)^2}\right]. \qquad (5)$$

Soluția este dublă, corespunzînd unor dezacordări în sensul subcompensării (semnul —) sau supracompensării (semnul +). Acestor valori limită le va corespunde faza tensiunii de deplasare a neutrului calculată cu ajutorul relației (3), în care se va introduce $q = q_1$.

Pe baza relației (5) s-au trasat graficele din figura 6, care exprimă dependența dintre mări-

mile a și q_1. Influența parametrului d s-a dovedit neînsemnată în raport cu influența lui m, astfel încît nu s-a reprezentat în această figură.

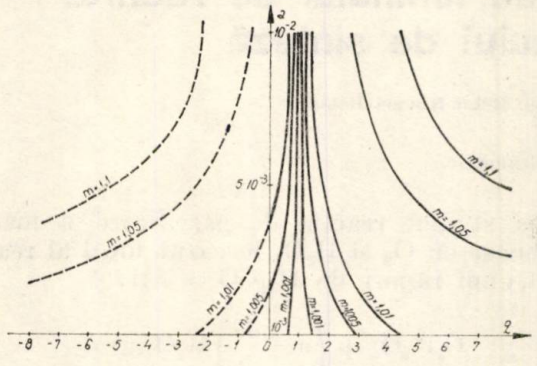


Fig. 6. Graficul funcției $q_1 = f(a)$.

Zona valorilor $q < 0$, rezultată din calcule, nu corespunde unor situații care ar putea avea loc în rețele, deoarece conform definiției $q = 1/3\omega^2 LC_0$, gradul de acord are întotdeauna valori pozitive. Semnificația fizică a acestui rezultat este că intersecția curbelor cu axa ordonatelor delimitează valoarea minimă necesară a tensiunii de intrare, care asigură sesizarea oricărei abateri de la acordarea corectă în sensul subcompensării. Pentru alegerea valorii admisibile a acestei tensiuni trebuie verificat dacă și în sensul supracompensării se obține o zonă de variație suficientă a gradului de acordare, pentru a acoperi toate situațiile posibile în rețeaua considerată. De exemplu: pentru $m = 1{,}01$, $a(q = 0) = 3{,}7 \cdot 10^{-3}$, valoare căreia îi corespunde, în zona supracompensării, gradul de acordare $q = 2$.

Ca regulă generală se poate observa că, pe măsură ce gradul de nesimetrie este mai mare limita inferioară a tensiunii de intrare poate fi mai ridicată, sau pentru o anume limită fixată zona de variație a gradului de acordare poate fi mai largă.

În privința modificării fazei tensiunii de deplasare a neutrului pentru valorile q_1 corespunzătoare limitei inferioare a tensiunii de intrare, calculele arată că modificările sînt foarte însemnate, depășind cu mult limitele de sensibilitate în fază ale regulatorului. Astfel, acesta are condiții sigure de funcționare.

Revenind la limita de tensiune minimă atinsă pentru aparatul RABS, valoarea de 0,1 V pentru tensiunea din înfășurarea de măsură a tensiunii existente în bobinele de stingere corespunde unei valori $a = 10^{-3}$, ceea ce asigură condiții bune de funcționare chiar și în rețele cu nesimetrie redusă a capacităților față de pămînt.

Obținerea acestei valori, pe jumătate față de varianta anterioară, s-a putut realiza prin reducerea rezistențelor de limitare a curentului în înfășurarea secundară a transformatorului de intrare, ca și prin mărirea amplificării în blocul de intrare respectiv.

5. Sistemul de tensiuni de referință

În principiu, drept tensiune de referință se poate folosi orice semnal periodic a cărui fază este constantă. Deoarece tensiunea de deplasare a neutrului poate avea fază diferită de la o rețea la alta în funcție de particularitățile constructive ale acestora, s-a folosit un sistem trifazat de tensiuni din care se poate alege o tensiune de fază sau de linie drept tensiune de referință, astfel încît aceasta să se găsească într-o anumită poziție în raport cu tensiunea de deplasare a neutrului corespunzătoare acordării corecte a bobinei de stingere. Sistemul trifazat de tensiuni permite modificarea fazei tensiunii de referință din 30 în 30 grade, iar defazajul fin, realizat de un circuit RC, acoperă plaja dintre două poziții fixe succesive. În cazul regulatorului automat prezentat în această lucrare, pentru starea de funcționare corectă a bobinei de stingere între cele două semnale de la intrare trebuie să existe un defazaj de 90°.

Drept sistem de tensiuni de referință s-a folosit inițial sistemul trifazat 380/220 V, 50 Hz, preluat din serviciile interne ale stației. La varianta perfecționată s-a prevăzut posibilitatea folosirii la alegere a sistemului de tensiuni menționat mai sus sau a sistemului trifazat $100/100/\sqrt{3}$V, 50 Hz, preluat de la o celulă de măsură.

Sistemul de tensiuni de referință ales trebuie păstrat pe o perioadă cît mai lungă de funcționare a regulatorului. Schimbarea sa impune alegerea unei tensiuni de referință, care să satisfacă condiția de a se afla defazată cu 90° față de tensiunea de deplasare a neutrului în situația acordării corecte a bobinei de stingere.

Concluzii

Perfecționările constructive ale regulatorului automat pentru bobine de stingere au condus la următoarele rezultate:

— eliminarea funcționărilor false în cazul lipsei uneia sau ambelor semnale de intrare;

— lărgirea posibilităților de alegere a întîrzierii la funcționare, putînd acoperi și durata pauzei a doua a ciclului RAR;

— extinderea limitelor de variație a tensiunii de deplasare a neutrului pentru care aparatul funcționează corect, mărind astfel gama de variație a gradului de acordare a bobinei de stingere care poate fi sesizată de regulator.

Bibliografie

[1] Pietzch, H. *Automatische Erdschlusskompensation in Mittelspannungsnetzen.* În: Energietechnik, R.D.G., 1972, nr. 5.

[2] Petrov, O. A. *Sistem avtomaticeskoi nastroiki dugogasiașcei katușki.* În: Elektriceskie stanții, U.R.S.S., 1973, nr. 1.

[3] Petrov, O. A. *Avtomaticeskaia nastroika plunjernîh dugogasiașcih reaktorov v kabelnîh setiah.* În: Elektriceskie stanții, U.R.S.S., 1983, nr. 10.

[4] Goia, L. *Tratarea neutrului în rețelele de medie tensiune.* Editura Tehnică, București, 1985.

(Primit la 24 noiembrie 1987, acceptat la 16 februarie 1988)

Considerații privind gazeificarea lemnului de răchită în vederea obținerii gazului de sinteză

Ing. Ion Berindan, ing. Tiberiu Molnar, chim. Reka Kovacs-Dobolyi*

Descriptori: resurse energetice reînnoibile, gaze de sinteză, materiale lemnoase

Valorificarea biomasei, inclusiv a masei lemnoase, prezintă un interes deosebit datorită caracterului regenerabil al resursei și diversității căilor de valorificare posibile.

Sub aspectul eficienței valorificării masei lemnoase, aceasta este cu atît mai interesantă cu cît ciclul de regenerare este mai scurt și cantitatea de masă lemnoasă obținută pe unitate de suprafață cultivată este mai mare. Este deci oportună realizarea și proliferarea culturilor energetice cu specii lemnoase repede crescătoare (răchită, plop), avînd ciclul de regenerare de 1 — 2 ani și durata de viață a culturii de minimum 10 ani.

Între căile de valorificare a masei lemnoase conversia termochimică se afirmă pe două planuri distincte:

— producerea de gaz energetic prin gazeificare cu aer și abur, marcată de realizări la scară industrială într-o serie de țări (Canada, Suedia, Anglia, R.S. Cehoslovacă);

— producerea de gaz chimizabil prin gazeificare cu oxigen și abur, domeniu în care pe plan mondial se cunosc puține preocupări.

În contextul actual al reconsiderării balanțelor de energie și materii prime, gazeificarea masei lemnoase pentru obținerea de gaz chimizabil devine o tehnologie cu mari șanse de afirmare. Această perspectivă reclamă cercetări laborioase, întreprinse în mod sistematic și riguros, în scopul clarificării procesului de gazeificare în toate fazele desfășurării lui, precum și stabilirea unor parametrii optimi atît din punctul de vedere al procesului propriuzis, cît și al consumurilor energetice.

Prezenta lucrare își propune să evidențieze unele aspecte specifice ale gazeificării lemnului de răchită pentru producerea de gaz chimizabil, respectiv gaz de sinteză.

Considerații termodinamice și cinetice

Aprecierea posibilității de gazeificare a unor specii lemnoase reclamă, în primă instanță, stabilirea reactivității lor termodinamice față de agenții de gazeificare (abur, aer, oxigen). In prezenta lucrare s-au luat în considerare ca agenții de gazeificare: aburul și oxigenul.

S-a studiat reacția de gazeificare a masei lemnoase cu O_2 și H_2O, în cazul ideal al realizării unui raport de $H_2/CO = 1:1$.

$$C_aH_bO_c + \left(a - \frac{b}{2}\right) H_2O\,(g) + \frac{\left(\frac{b}{2} - c\right)}{2} O_2 \rightleftharpoons a\,CO + aH_2, \qquad (1)$$

unde:

$C_aH_bO_c$ — reprezintă formula brută a masei lemnoase, scrisă într-o formă generală pentru toate speciile lemnoase. Coeficienții a, b, c se calculează pe baza compoziției elementare a speciei lemnoase studiate.

Calculînd afinitatea normală a reacției (1) la diferite temperaturi, folosind a doua aproximație a lui Ulich, s-au determinat curbele de afinitate nulă ale unor specii lemnoase. Aceste curbe, în coordonate $\lg p - T$, sînt prezentate în figura 1.

Curba de afinitate nulă $A\ (T, p) = 0$ indică posibilitatea termodinamică de realizare a reacției (1). Reacția este posibilă din punct de vedere termodinamic în domeniul $p - T$ în care $A\ (T, p) < 0$ și imposibilă în domeniul $A\ (T, p) > 0$.

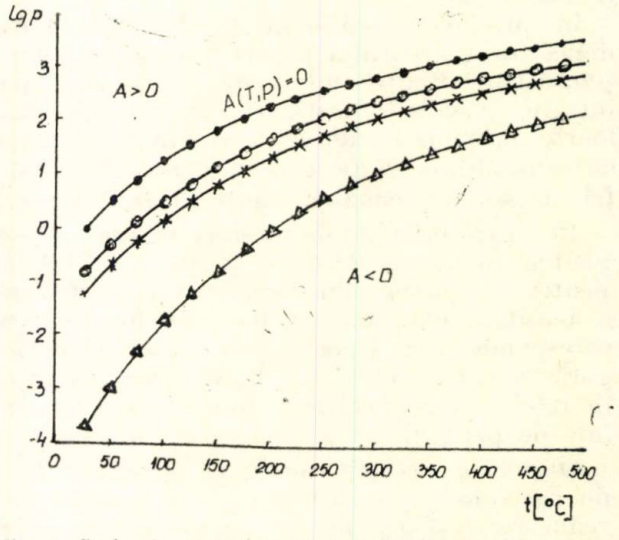


Fig. 1. Curbe de reactivitate pentru diferite specii lemnoase: ● — fag; ○ — molid; x — răchită; Δ — stejar.

* Ing. Ion Berindan, ing. Tiberiu Molnar, chim. Reka Kovacs-Dobolyi — Institutul de Cercetare Științifică și Inginerie Tehnologică pentru Echipamente Energetice — filiala Cluj-Napoca.

Se observă că afinitatea de reacție devine negativă la temperaturi joase (fig. 1), prin urmare reacția de gazeificare a masei lemnoase (1) este posibilă, din punct de vedere termodinamic, la presiune atmosferică sub 200°C. Valoarea afinității de reacție în cazul lemnului de răchită devine negativă,la presiune atmosferică, sub 100°C, ceea ce demonstrează o bună reactivitate termodinamică față de abur și oxigen. Se constată că lemnul de răchită prezintă o reactivitate mai scăzută față de agenții de gazeificare decît lemnul de fag și mai ridicată decît lemnul de stejar.

Odată cu creșterea temperaturii, valorile afinității de reacție devin din ce în ce mai negative pentru toate speciile lemnoase, deci temperatura are efect favorabil asupra desfășurării reacției în sensul formării H_2 și CO. Creșterea presiunii deplasează valorile afinității de reacție spre domeniul valorilor pozitive, prin urmare are influență negativă asupra desfășurării reacției.

Din punct de vedere cinetic însă, în domeniul temperaturii sub 400°C predomină reacțiile de descompunere termică a masei lemnoase. Au loc reacții de termooxidare, deshidratare, depolimerizare a masei lemnoase. În figura 2 este prezentată derivatograma lemnului de răchită, obținută în curent de aer. Termooxidarea are loc în domeniul 120° — 240°C, concomitent cu reacțiile de deshidratare a masei lemnoase. Materiile volatile degajate în acest interval conțin peste 80% apă. În intervalul 270° — 380°C curbele TG și DTG indică o viteză mare de descompunere a masei lemnoase cu degajare de materii volatile, volatilele atingînd viteza maximă de oxidare la 315°C. Temperatura de aprindere relativ joasă, de 360°C, a mangalului de răchită, rezultat în urma eliminării materiilor valatile, indică de asemenea o bună reactivitate a lemnului față de oxigen.

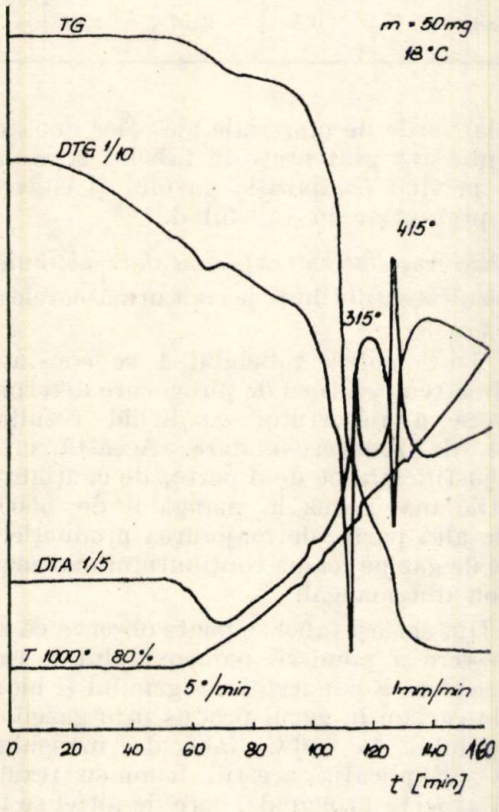


Fig. 2. Derivatograma lemnului de răchită.

Experimentări

Experimentările prezentate în continuare au fost realizate pe reactoare de laborator aloterme, în strat fix, utilizînd ca materie primă lemnul de răchită și ca agenți de gazeificare oxigenul și aburul.

Gazeificarea în strat fix cu oxigen și abur cuprinde o succesiune de etape de transformare fizico-chimică a masei lemnoase pentru obținerea gazului de sinteză (uscare, devolatizare, reducere — oxidare). Determinantă este etapa de reducere-oxidare, în care mangalul este transformat în gaz, dar rezultatul acestei transformări este influențat considerabil de etapele anterioare în care se produce mangalul. În această idee, la scară de laborator, s-a procedat la o fracționare a procesului complex care se desfășoară în generatorul de gaz în strat fix, separînd și studiind pe rînd etapa de producere a mangalului (pirogenarea) și aceea de transformare a lui în gaz (oxido-reducerea).

Pirogenarea lemnului de răchită

Rolul pirogenării în cadrul complexului integrat de transformări care au loc într-un generator de gaz este acela de a asigura eliminarea volatilelor din structura componentului transformabil de bază al materiei prime, care este carbonul. Condițiile în care se desfășoară procesul de pirogenare pot avea, după cum se va vedea în continuare, o influență considerabilă asupra ponderii componenților gazoși în produsul final al gazeificării mangalului rezultat din pirogenarea lemnului de răchită.

Schema bloc a instalației de pirogenare este prezentată în figura 3.

Răchita introdusă în reactorul aloterm a fost încălzită pînă la 550°C într-un experiment și pînă la 650°C în alt experiment. Gradientul de creștere a temperaturii a fost, în ambele

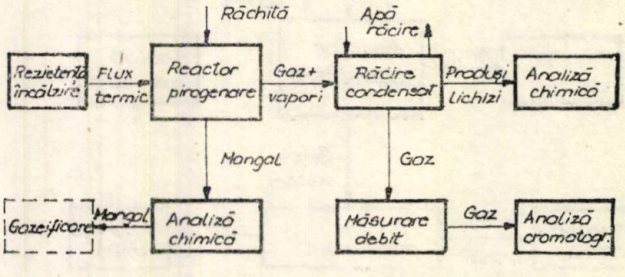


Fig. 3. Schema bloc a instalației de pirogenare.

Tabelul 1

Bilanț de materiale de pirogenare

	Pirogenare 550°C		Pirogenare 650°C	
	grame	%	grame	%
Intrări				
Răchită anhidră	457,85	91,57	457,85	91,57
Umiditate	42,15	8,43	42,15	8,43
Total intrări	500	100	500	100
Ieșiri				
Gaz total	211,53	42,3	218,3	43,66
din care: H_2	3,63	0,73	4,62	0,92
CO	43,60	8,72	44,53	8,9
C_nH_m	14,09	2,82	16,58	3,32
CO_2	150,13	30,03	152,57	30,52
Produși lichizi	137,97	27,6	150,5	30,1
Mangal	148,00	29,6	128,2	25,64
Total ieșiri	497,5	99,5	497	99,4
Pierderi	2,5	0,5	3	0,6

cazuri de 7 — 8°C/min, iar cantitatea de răchită pirogenată (bucăți de 10 — 30 mm lungime și diametrul de 3 — 20 mm) a fost de 500 g. Procesul de pirogenare s-a considerat terminat odată cu încetarea degajării de gaz din reactor. Gazele și vaporii rezultați au fost răciți, separînd astfel condensabilele. Bilanțurile de masă ale celor două experimente sînt prezentate în tabelul 1.

Se observă că mărimea temperaturii de pirogenare implică o creștere a ponderii gazului și condensabilelor (în speță hidrocarburi lichide) în defavoarea mangalului obținut.

Gazeificarea mangalului

Mangalul obținut prin pirogenarea lemnului de răchită este supus gazeificării într-un alt reactor aloterm, la aceiași parametri de proces pentru ambele calități de mangal obținute.

Gazeificarea se realizează la temperatura de 800 — 850°C, presiune atmosferică și utilizînd un amestec de abur și oxigen în raport de circa 10 :1 g/l. Schema bloc a instalației de laborator

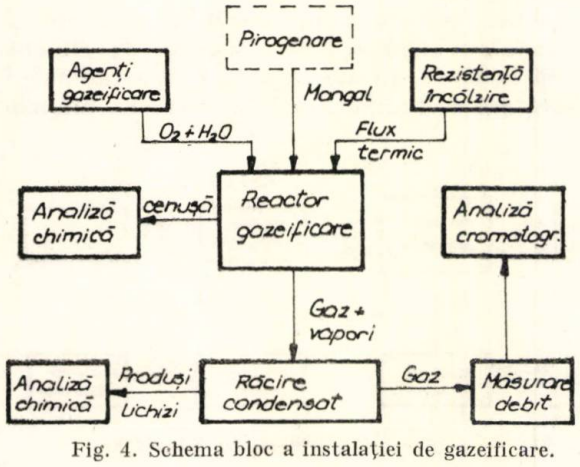


Fig. 4. Schema bloc a instalației de gazeificare.

pentru gazeificarea mangalului este prezentată în figura 4.

S-au introdus în reactor 75 g mangal și s-au încălzit la 800 — 850°C. Dozarea amestecului de agenți de gazeificare a început la atingerea temperaturii la care s-a făcut pirogenarea (550°C și respectiv 650°C). Temperatura s-a menținut în domeniul 800 — 850°C, pe toată perioada măsurătorilor. Condensabilele au fost separate prin răcire.

Tabelul 2

Bilanț de materiale de gazeificare

	Mangal 550°C		Mangal 650°C	
	grame	%	grame	%
Intrări				
Mangal de răchită	75	40,9	75	40,9
Oxigen	20,39	11,1	19,94	10,88
Abur	88	48	88,4	48,22
Total intrări	183,39	100	183,34	100
Ieșiri				
Gaze total,	162,24	88,47	164,69	89,83
din care: H_2	9,35	5,1	9,84	5,36
CO	51,89	28,29	85,31	46,53
C_nH_m	0,58	0,31	0,78	0,43
O_2	0,58	0,31	—	—
CO_2	99,84	54,46	68,75	37,51
Produși lichizi	13,16	7,18	4,65	2,54
Reziduuri	7,5	4,10	13	7,08
Total ieșiri	182,89	99,73	182,33	99,45
Pierderi	0,5	0,27	1,01	0,55

Bilanțurile de materiale ale celor două experimente sînt prezentate în tabelul 2, iar unele date privind compoziția gazului și conversiile sînt prezentate în tabelul 3.

Analiza rezultatelor experimentale obținute

Rezultatele obținute permit următoarele aprecieri :

1. Din analiza tabelului 1 se constată că mărirea temperaturii de pirogenare determină o creștere a raportului gaz/lichid rezultat în etapa de reducere-oxidare. Această creștere este justificată, pe de o parte, de conținutul de volatile mai redus la mangalul de 650°C și, pe de altă parte, de majorarea producției specifice de gaz pe seama conținutului mai mare de carbon din mangal.

2. Din același tabel se poate observa că apare o creștere a ponderii monooxidului de carbon si o scădere a ponderii hidrogenului și bioxidului de carbon în gazul produs prin gazeificarea mangalului de 650°C față de mangalul de 550°C. Explicația acestui fenomen rezidă în două aspecte principale, care de altfel se întrepătrund, și anume :

Tabelul 3

Date de proces

		U.M.	Mangal 550°C	Mangal 650°C
Temperatură reactor		°C	800—850	800—850
Presiune reactor		atm.	atmosferică	
Raport abur/oxigen		—	10,3:1	10,4:1
Compoziție medie de gaz	CO	%	20,5	33,2
	H_2	%	51,7	47,4
	CO_2	%	25,1	16,0
	CH_4	%	0,4	0,5
	O_2	%	0,2	0
	N_2	%	2,0	2,1
Grad de conversie carbon	total	%	91	82
	în CO	%	40	51
Grad de conversie abur	total	%	58	55
	în H_2	%	54,5	54,9

— particularitățile structurale ale mangalului;

— regimul termic din generatorul de gaz.

Structura mangalului este condiționată de temperatura de pirogenare. Astfel, la mangalul obținut prin pirogenare la temperaturi mai mici centrii activi ai structurii sale sînt blocați de gudroane.

În cazul mangalului obținut la temperaturi mai ridicate crește porozitatea structurii lui și implicit suprafața activă, fapt care poate orienta chimismul procesului în direcția creșterii ponderii oxidului de carbon în gazul rezultat.

În cazul gazeificării în strat fix, în contracurent, mărirea temperaturii de pirogenare este determinată direct de mărirea temperaturii în zona de gazeificare. Dat fiind caracterul endoterm al reacțiilor care asigură obținerea unui raport maxim între mono- și bioxidul de carbon și echilibrarea concomitentă a ponderii hidrogenului și monooxidului de carbon, rezultă ca oportună, și din acest punct de vedere, mărirea temperaturii în generatorul de gaz destinat obținerii de gaz de sinteză.

Concluzii

Lemnul de răchită manifestă o bună reactivitate față de agenți, după cum reiese din curba de reactivitate (vezi fig. 1), reacția de gazeificare fiind posibilă termodinamic la temperaturi în jur de 100°C. Din punct de vedere cinetic, gazeificarea cu oxigen și abur a mangalului de răchită este posibilă la temperaturi minime în jur de 400°C.

Obținerea gazului de sinteză, caracterizat de un raport H_2/CO cuprins între 1 — 1,5/1 și conținut redus de CO_2 și hidrocarburi, impune realizarea pirogenării lemnului de răchită la temperaturi de circa 650°C, asigurînd astfel o structură mai reactivă a mangalului și condiții favorabile echilibrării raportului hidrogen-monooxid de carbon în gazul de gazeificare.

Bibliografie

[1] Kosik, M., Reiver, V., Blaxej, A. În: J. Thermal Analysis, vol. 23, (1982), p. 51—64.

[2] Laszkiewicz, B., Struscyk, H. În: J. Thermall Analysis, 19 (1980), p. 425.

[3] Moldovan, I. *Tehnologia resurselor energetice*, vol. I. București, Ed. tehnică, 1985.

[4] Carabogdan, Gh. ș.a. *Instalații termice industriale*. București, Ed. tehnică, 1983.

[5] Niac, G. ș.a. *Formule, tabele, probleme de chimie-fizică*. Cluj-Napoca, Ed. Dacia, 1984.

[6] Szalay, L. *A fahulladék hasznositása*. Budapest, Müszaki Könyvkiadó, 1981.

(Primit la 21 martie 1987, acceptat la 25 februarie 1988)

Termocentrala Grozăveşti-Bucureşti a depăşit 75 de ani de existenţă

Aspecte organizatorice

Anul 1987 a marcat împlinirea a 75 de ani de la punerea în funcţiune a centralei termoelectrice Grozăveşti, numită atunci, în 1912, „Uzina comunală Grozăveşti".

Contextul apariţiei acestei importante surse centralizate de producere a energiei electrice, devenită ulterior şi furnizoare de energie termică, a fost destul de frământat.

După cum se cunoaşte, oraşul Bucureşti a făcut cunoştinţă cu aplicaţiile energiei electrice pentru iluminat încă din anul 1882 [1, 2, 3]. Extinderea iluminatului electric în capitală a întîrziat, însă, mai ales datorită menţinerii pe o durată mare de timp a concesiunii iluminatului cu gaz aerian. În această situaţie, prima analiză a oportunităţii unei centrale electrice publice a fost făcută de Primăria Capitalei de-abia în 1900, primar fiind cunoscutul scriitor Barbu Delavrancea.

În 1906, primar fiind Mihail Cantacuzino, s-a trecut la proiectarea şi construirea Centralei cu motoare diesel Filaret şi a reţelei de distribuţie aferente (trei feederi de 5000 V, 80 posturi de transformare, 69 km străzi) [2]. Punerea în funcţiune a acestui prim nucleu de alimentare centralizată cu energie electrică a capitalei a avut loc în septembrie 1908, odată cu deschiderea stagiunii anuale a Teatrului Naţional, primar fiind la acea vreme Vintilă Brătianu.

În 1909, Primăria oraşului a înfiinţat „Societatea Comunală pentru Exploatarea Tramvaielor Electrice" (STB). Societatea respectivă urma să construiască, pentru început, 10 km de linii, neconcurente cu cele ale vechilor „Societăţi de Tramvaie", iar după 1918 să electrifice şi liniile de tramvaie cu cai ale vechilor concesionari.

Prin actul de concesiune încheiat cu „Societatea de Gaz şi Electricitate" (SGGE) — proprietar CDE Filaret —, Primăria şi-a rezervat dreptul *„de a deservi cu electricitate, oricum va voi, viitoarele tramvaie electrice, iluminatul bulevardelor, precum şi un sector în apropierea Abatorului, unde se prevedea că se va face o instalaţie de ars gunoaie, recuperarea căldurii şi transformarea ei în energie electrică"* [4].

În acest scop, tînărul absolvent al Politehnicii Charlottenburg-Berlin, inginerul Dimitrie Leonida, aflat în serviciul Primăriei, proiectează o centrală termoelectrică pe păcură în zona Grozăveşti.

Perioada 1910—1918. Prima etapă a lucrărilor la noua uzină electrică pentru scopuri publice, începute în 1910, se termină în ianuarie 1912.

Pe amplasamentul pe care se găseşte şi astăzi CET Grozăveşti s-a clădit, în această etapă, o suprafaţă de 425 m², care adăpostea următoarele instalaţii principale:

— patru cazane de abur tip Babcock Wilcox (fabricate de Intreprinderea Vulcan Bucureşti, cu numerele 255—258) cu o suprafaţă de încălzire de 300 m² şi o suprafaţă de supraîncălzire de 92 m², care produceau abur de 1,4 MPa şi 350°C;

— două turbine cu abur, cu condensaţie, tip AEG-Curtis (fabricate de AEG-Berlin) a cîte 1 MW;

— două alternatoare a cîte 1,25 MVA, 5, 5 kV, 50 Hz;

— instalaţii electrice de conexiune şi distribuţie.

Apa de răcire a condensatoarelor se lua din riul Dîmboviţa, utilizîndu-se aducţiunea de la Ciurel, care servise vechii Uzine hidraulice Grozăveşti (1888—1912)[1].

Apa de adaos pentru alimentarea cazanelor de abur se asigura din reţeaua oraşului, prin tratarea cu var şi sodă şi ulterior cu fosfat trisodic.

Prin construirea „Uzinei Comunale Grozăveşti" s-a iscat un proces între Primărie şi SGGE cu privire la delimitarea zonelor asigurate cu energie electrică de către fiecare din cele două părţi. În 1913 s-a căzut la învoială, stabilindu-se ca Primăria să preia *„pe lîngă sectorul rezervat, alimentarea tramvaielor, iluminatul public al bulevardelor Carol, Elisabeta (astăzi Republicii, Gh. Gheorghiu-Dej), al Şoselelor Kiseleff, Jianu, al parcurilor Cişmigiu şi Carol (astăzi Libertăţii), precum şi iluminatul tuturor clădirilor comunale specificate într-o listă enumerativă şi restrictivă"*.

În 1914 se instalează la Grozăveşti un al treilea grup turbogenerator de 2 MW, precum şi alte patru cazane tip BW (nr. 5—8) similare cu cazanele nr. 1—4.

După declararea primului război mondial (1914), întrucît Uzina Comunală Grozăveşti dispunea de o apreciabilă rezervă de putere (4 MW instalaţi faţă de 0,8 MW consum maxim) s-a perfectat o înţelegere între Primărie şi SGGE, în scopul preluării alimentării din Grozăveşti, a unei părţi din reţeaua oraşului. În timpul ocupaţiei germane a Bucureştiului, ultimele două cazane de abur BW (nr. 9 şi 10) montate în Grozăveşti au fost echipate cu grătare pentru arderea lignitului [4].

Perioada 1922—1936. În anul 1924, Primăria, care avea pe atunci la conducere pe dr. I. Costinescu, reuşeşte să cumpere toate acţiunile SGGE, devenind proprietara unică a uzinelor publice (Grozăveşti şi Filaret) şi a întregii reţele electrice a oraşului.

Creşterea necesarului de consum determină instalarea în această perioadă a încă opt cazane BW (nr. 11—18) şi a trei turbogeneratoare (TA_4 — 4 MW, TA_5 — 10,4 MW, TA_6 — 16 MW), precum şi a unor instalaţii electrice de distribuţie şi conexiune cu „uzinele exterioare": CTE Floreşti, Cîmpina, Schitu Goleşti şi CHE Dobreşti.

În anul 1936 se pune în funcţiune grupul turbogenerator nr. 7 de 20 MW, cel mai mare grup instalat pînă atunci în ţară şi rămas singurul de această putere pînă la 1950 [1].

În aceeaşi perioadă se construieşte şi primul turn de răcire din beton armat, de formă hiperboloidală. Turnul avea diametrul la bază de 34,3 m, înălţimea de 48 m *(„aproape cît a Palatului Telefoanelor")* şi o capacitate de răcire de *„5 miliarde litri de apă pe fiecare oră"* (similară cu debitul normal al riului Dîmboviţa). Acest turn era considerat *„printre primele de asemenea proporţii în Europa"* [7].

Cu 54,5 MW putere electrică instalată la nivelul anului 1936 (care reprezenta 22,8 % din puterea totală instalată în centralele de distribuţie publică din România) şi cu o producţie anuală de 92,26 GWh (19,3 % din producţia totală) Grozăveşti devine cea mai mare centrală termoelectrică din ţară [6].

---

[1] Prin apariţia CTE Grozăveşti, Uzina hidraulică Grozăveşti [3], denumită şi „Centrala hidro-termomecanică electrică Grozăveşti" [5], rămîne numai ca staţie de pompare a apei potabile.

Unele imagini ale instalațiilor existente la acel moment sînt redate în figura 1.

Perioada 1939—1943. În 1939 încep lucrările de transformare a vechii săli de cazane, în vederea instalării cazanelor de înaltă presiune tip Löffler (L_4 — 1942 și L_3 — 1943) și a instalațiilor auxiliare. Pe vechea sală de turbine se instalează turbinele înaintașe (TA_4 [1]), TA_3).

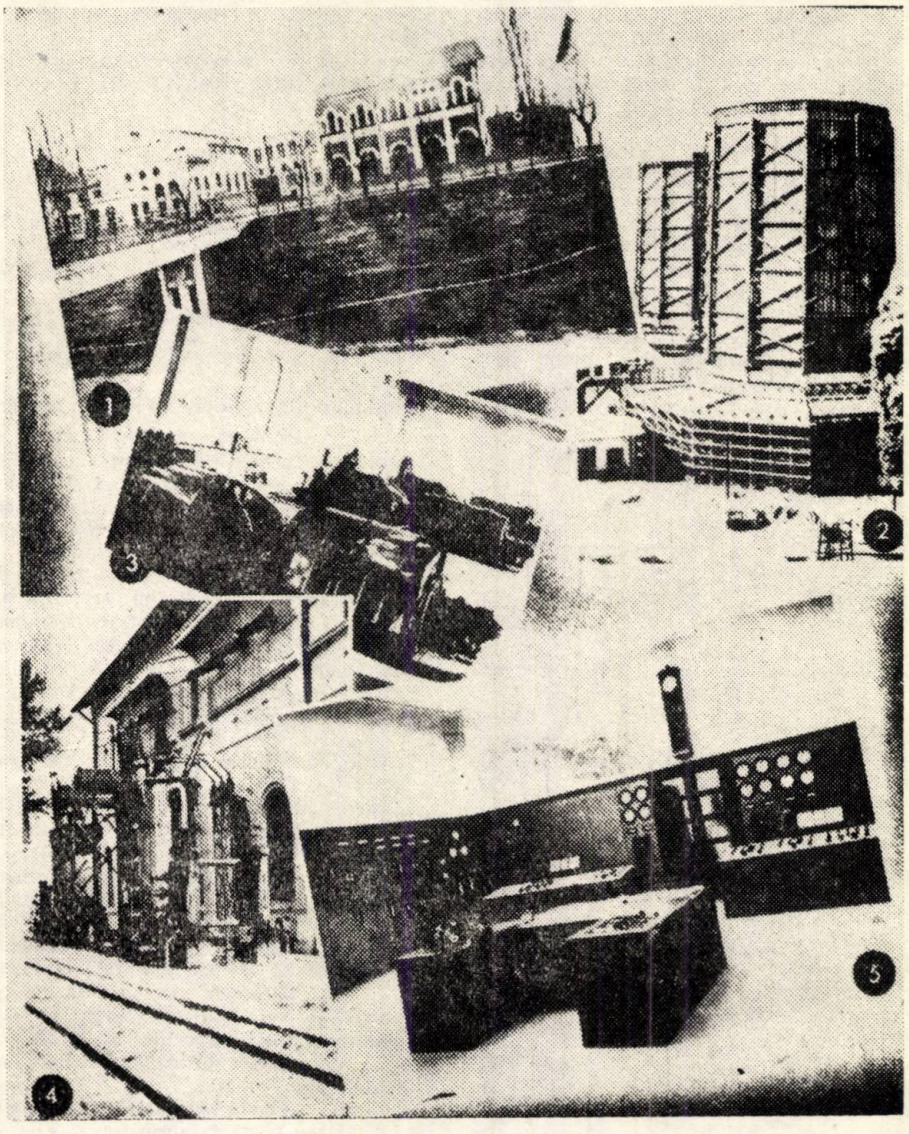


Fig. 1. Imagine din Centrala termoelectrică Grozăvești—1936: 1— vedere de ansamblu a centralei dinspre Dîmbovița; 2 — turnuri de răcire a apei; 3 — sala mașinilor cu grupurile 5, 6 și 7; 4—stația de transformare 110/30 kV; 5 — camera centrală de comandă și control.

Odată cu punerea în funcțiune a acestui ciclu cu *„căldări de tipul cel mai mare utilizat în Europa, la presiunea și temperatura cele mai înalte"* [7] CTE Grozăvești are o putere electrică instalată de 88 MW, rămînînd cea mai mare din țară pînă la apariția obiectivelor energetice de amploare din planul decenal de electrificare a R.P.R.

Perioada 1957—1960. După naționalizare, CTE Grozăvești a făcut parte din Intreprinderea Regională de Electricitate București, iar din 1953, alături de CDE Filaret a constituit Intreprinderea Electrocentrale București, în cadrul Energotrustului nr. 1.

În 1957 se realizează la Grozăvești instalația de „termoficare experimentală", cu capacitatea de 7 MW_t (6 Gcal/h), prima instalație de termoficare urbană din Capitală, una din primele de acest gen din țară [3].

În 1958, Intreprinderea Electrocentrale București se separă de celelalte întreprinderi ale Energotrustului nr. 1 (Electrorețele și Electrodistribuție).

Punerea în funcțiune, în 1960, a instalației de termoficare urbană 90,5 MW_t (78 Gcal/h), prima instalație din țară care utiliza căldura aburului prelevat dintr-o turbină prevăzută cu o singură priză reglabilă (TA_8), consolidează Grozăveștiului statutul de Centrală Electrică de Termoficare (CET) [3].

Perioada 1962—1970. Momentul culminant în evoluția instalațiilor din termocentrala Grozăvești îl constituie etapa 2×50 MW + 4×116 MW_t (4×100 Gcal/h). În urma demolării unor construcții și instalații vechi se realizează

[1] Vechea turbină cu condensație TA_4—4 MW instalată în 1924 ca despăgubire de război după Tratatul de la Versailles, se renumerotează TA-Si sau A_8.

practic, o nouă centrală electrică de termoficare (denumită „etapa nouă") ale cărei echipamente au fost racordate funcțional la „etapa veche".

În această perioadă CET Grozăvești înregistrează puterea electrică instalată maximă de 213 MW și puterea termică instalată maximă de 921 MW_t (794 Gcal/h).

În cadrul Intreprinderii Electrocentrale București s-au adăugat nucleului format din CDE Filaret[1] și CET Grozăvești, noi centrale electrice: CET 23 August (1963), CET București Sud (1965), CTG București Sud (1966), CET București Vest (1972), CET Giurgiu (1984) [2], CET Progresul (1987).

Spre finele perioadei și în continuare, pe fondul preocupărilor pentru creșterea siguranței și economicității în exploatare a etapei noi se trece la dezafectarea instalațiilor din etapa veche (1968—TA-SI, TA_7; 1979/80—C_{18}, TA_5, TA_6; 1980—L_4, TA_4; 1981—C_{17}; 1985—L_3, TA_3).

Aspecte tehnico-economice

Din 1912 și pînă în prezent în termocentrala Grozăvești s-au instalat:

— 22 cazane de abur, din care:
- 18 cu circulație naturală (BW), 300—750 m^2 suprafață de încălzire, 1,4—1,9 MPa, 350—400°C;
- două cu circulație forțată a aburului (Löffler), 170 t/h, 12,9 MPa, 500°C;
- două cu circulație naturală (TGM-84) (420 t/h) și IBZKG (210 t/h), 13,7 MPa, 570°C (ulterior 540°C);

— 15 turbine cu abur (trei înlocuiri) din care:
- 10 cu condensație pură, cu puteri de la 1 pînă la 20 MW;
- două cu contrapresiune, a cîte 15,25 MW;
- trei cu condensație și prize reglabile de termoficare urbană 1×25 MW; 2×50 MW;

— patru cazane de apă fierbinte a cîte 116 MW_t (100 Gcal/h);

— stații electrice de conexiuni, distribuție și servicii auxiliare la tensiunile: 110; 60; 30; 6; 5; 0,4 kV.

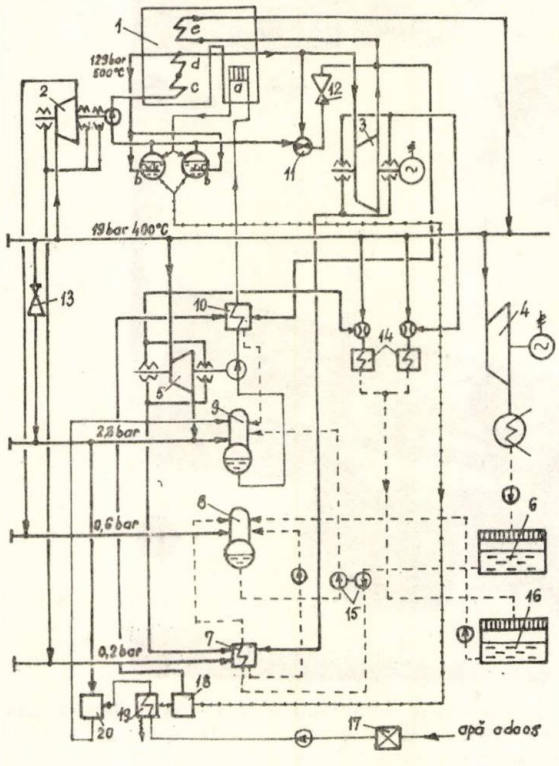


Fig. 2. Schema circuitului termic al „ciclului Löffler" din CTE Grozăvești:
1 — cazan de abur Löffler; a — economizor; b — tambure vaporizatoare; c — supraîncălzitor de radiație; d — supraîncălzitor de convecție; e — supraîncălzitor intermediar; 2 — turbopompă de circulație; 3 — turbină înaintașă; 4 — — turbină cu condensație; 5 —turbopompă de alimentare; 6—rezervor de condensator; 7 — preîncălzitor de joasă presiune; 8 — degazor tr. I; 9 — degazor tr. a II-a; 10 — preîncălzitor de înaltă presiune; 11 — ventil de amestec; 12— SR 129/19 bar; 13 — SR 19/2,8 bar; 14 — răcitori de abur-scăpări; 15 — pompă dublă; 16 — rezervor de condensat scăpări; 17 — filtru cu permutit; 18 — expandor purjă continuă; 19 — preîncălzitor apă de adaos; 20 — degazor apă adaos.

Pe parcursul celor 75 de ani de existență construcțiile, instalațiile și echipamentele din Grozăvești au suferit numeroase transformări și modificări (prezentate pe larg în [3]), urmărindu-se în permanență îmbunătățirile randamentelor și atingerea performanțelor tehnico-economice de nivel internațional.

Primul ciclul termic de condensație din 1912 a avut parametrii aburului: 1,4 MPa și 350°C.

La recepția centralei din noiembrie-decembrie 1914 de către comisia primăriei, formată din prof. ing. N. Vasilescu Karpen, ing. Th. Săvulescu și ing. C. D. Bușilă, consumul specific de combustibil pentru producerea energiei electrice a fost de 0,675 kg păcură/kWh (906 g c.c./kWh), față de 0,915 kg păcură/kWh (1229 g c.c./kWh), valoare înregistrată în primul an de exploatare [5]. Prin instalarea cazanelor BW nr. 13—18, parametrii aburului au crescut la 1,9 MPa și 400°C.

La probele de recepție, efectuate în prezența comisiei compuse din: prof. ing. D. Leonida, prof. ing. I. Arapu, ing. P. Dimo, ing. C. Rotaru (șeful centralei la acea dată), ing. Șt. Gheorghiu și ing. L. Stanisavlievici, „căldările de aburi" nr. 17 și 18 (fabricate de Uzinele Vulcan București) au obținut randamente de 88,7 %, față de 84 % valoare garantată de furnizor [8].

Turbinele cu condensație tip BBC (TA 4, 5, 6) alimentate cu abur din cazanele respective au înregistrat consumuri specifice de circa 600 g c.c./kWh.

„Ciclul de înaltă presiune" a dispus de următoarele componente:

— două „căldări de abur" tip Löffler 68*/135**/170***/180 t/h**** fabricație WITKOWITZ (nr. 2307—2308);

— două „grupuri turboalternatoare" a cîte 15,25 MW, fabricație BROWN BOVERI;

— două instalații de alimentare și degazare a apei „prin procedeul regenerativ";

— o instalație de preparat apă de adaos „pe cale chimică".

Cazanele Löffler aveau o pornire rapidă, prezentau o construcție specială și erau integrate într-un circuit termic cu particularități interesante (fig. 2). Vaporizarea aburului se producea în două tambure (avînd fiecare diametrul 1600 mm, lungimea 11200 mm și grosimea pereților 105 mm) realizate din cîte două piese cilindrice forjate, asamblate cap la cap prin înșurubare și sudare. Aburul saturat era vehiculat din tambure prin supraîncălzitorul de radiație și de convecție, cu ajutorul unei turbopompe de circulație, fabricație ESCHER WYSS. La ieșirea din supraîncălzitorul de

[1] Dezafectată în 1975.
[2] Devenită în 1988 întreprindere separată.
*) debit minim; **) debit economic; ***) debit maxim continuu; ****) debit maxim de scurtă durată.

convecție, 1/3 din abur intră în turbina înaintașă, iar 2/3 se insuflă în tambure, pentru a vaporiza apa ce se introducea din economizorul cazanului. După destinderea în turbina înaintașă (care funcționa bloc cu cazanul respectiv), aburul parcurgea supraîncălzitorul intermediar, de unde intra în bara colectoare de 1,9 MPa la care erau racordate turbinele de condensație.

Cazanele erau dotate cu cîte două preîncălzitoare regenerative rotative tip Ljungström, cu ax orizontal, precum și cu cîte două ventilatoare de aer și două de gaze de ardere cu „turație reglabilă prin rezistențe introduse în rotor". Pe frontul cazanului erau montate, pe două etaje, șapte arzătoare combinate de gaze naturale-păcură, a cîte 2650 m³/h* și respectiv a cîte 2150 kg/h. Instalația pentru reglajul automat al funcționării cazanului, sistem Askania, se baza pe servomotoare acționate prin presiune de ulei. În schema instalației de alimentare și degazare erau intercalate preîncălzitoare de suprafață de 0,02 MPa și 1,9 MPa, precum și preîncălzitoare prin amestec și degazare la 0,06 MPa și 0,28 MPa. Pentru vehicularea condensatului din rezervoare în degazoare se foloseau „pompe duble", un singur motor electric antrenînd două pompe cu caracteristici diferite, montate pe același ax. Pentru alimentarea cu apă a cazanului s-au instalat două turbopompe a cîte 14 t/h, 1250 kW, cu turație reglabilă 6000—4500 rot/min, precum și două electropompe (1×140 t/h; 1×220 t/h).

La probele de recepție efectuate de comisia compusă din: prof. ing. S. Ghiolu, prof. ing. I. Cantuniari, ing. T. Lucescu, prof. ing. I. S. Gheorghiu, ing. P. Dimo, ing. N. Negrescu (șeful Uzinei Electrice Grozăvești), ing. Ștefan S. Gheorghiu și ing. I. S. Antoniu, s-au obținut următoarele rezultate [9]:

Parametrul	U.M.	Pe păcură	Pe gaze naturale
Randamentul cazanului	%	92,59	94,24
Puterea absorbită de pompa de circulație	kW	700,8	852,0
Consumul specific de abur al turbinei înaintașe	kg/kWh	11,1	11,1
Consumul specific de combustibil al întregii instalații	kcal/kWh (gc.c./kWh)	3278,5 (468,4)	3329,6 (475,7)
Puterea consumată de serviciile auxiliare	kW	496,1	421,4

Trecerea la ciclul de termoficare a condus la obținerea unor indicatori tehnico-economici de vîrf. Astfel TA_8—25 MW, tip PTKO, fabricație ERSTE BRÜNNER — R.S.C., cuplat în ciclul Löffler realiza consumuri specifice de la 440 g c.c./kWh în regim de condensație pînă la 245 g c.c./kWh în regim de termoficare.

TA_1 și TA_2—50 MW, tip VT-50-1-U.R.S.S., din „etapa nouă" au atins consumuri medii de 225 g c.c./ kWh, respectiv 380 g c.c./kWh, în regim de condensație, și 145 g c.c./kWh, în regim de contrapresiune.

* * *

Mărturii ale primelor instalații termomecanice și electrice din „Uzina Comunală Grozăvești" la nivelul anului 1912 au fost păstrate prin grija prof. ing. D. Leonida și se mai pot vedea și astăzi la Muzeul Tehnic din București, care îi poartă numele. Printre acestea se află „tabloul electric de comandă și distribuție", care a fost amplasat în capătul sălii vechi de turbine, un cazan de abur Babcock-Wilcox cu instalații anexe și rotorul unei turbine cu abur.

Amintirea unor oameni entuziaști, muncitori, maiștri, ingineri, care și-au legat viața de existența acestei centrale electrice de interes istoric, a rămas mai puțin în cărți sau reviste; s-a păstrat mai ales în sufletul generațiilor ulterioare de energeticieni, „grozăveșteni" sau din alte locuri ale țării. Ne facem o datorie de onoare din a reaminti o parte din aceștia, în speranța că lucrări mai ample vor face toate completările ce se impun.

Pe lîngă specialiștii menționați deja în prezentul articol și-au mai adus o contribuție de seamă, în „tinerețea" termocentralei Grozăvești: inginer, șef exploatare, Petre Lolescu (1896—1986), tehnician electrician Traian Carâp (1886—1975), șef mecanic Dumitru Eremia (1888—1952), șef mecanic Nicolae Chirștiuc (1891—1949), șef electrician Constantin Arghir (1899—1974) și mulți alții.

După șapte decenii și jumătate, viața continuă să pulseze pe terenul venerabilei termocentrale Grozăvești, astfel că în prezent se desfășoară lucrări pentru realizarea unei noi gospodării de păcură, iar pe vechea sală a cazanelor se instalează șapte noi cazane de apă fierbinte a cîte 11,6 MW_t (10 Gcal/h).

Bibliografie

[1] Dinculescu, C. și colectiv. *Istoria energeticii și electrotehnicii în România.* București, Editura Tehnică, 1981.

[2] Țuțuianu, O. *Centrala electrică Filaret-București, un capitol de seamă în istoria energeticii românești.* În: Energetica, 25, 1977, nr. 10, p. 390—396.

[3] Țuțuianu, O. *Continuitatea instalațiilor energetice în zona Grozăvești-București.* În: Energetica, 29, 1981, nr. 1, p. 47—53.

[4] * * * *Uzinele electrice București* 1908—1933, 25 *ani de funcționare.* Soc. Generală de Gaze și Electricitate, 1933.

[5] Cartianu, P. *Din evoluția concepției și soluțiilor pentru alimentarea cu energie electrică a orașului București.* În: Energetica, 30, 1982, nr. 2, p. 83—86.

[6] * * * *Statistica Uzinelor electrice din România* — 1936. București, APDE.

[7] * * * *Condițiile în care funcționează o întreprindere de folos public.* SGGE, București, 1928—1938.

[8] * * * *Proces verbal de recepție provizorie a căldărilor de aburi Babcock Wilcox-Vulcan-București, secționale, 20 kg /cm², 400 °C și 32 t/h producție de aburi fiecare, la sarcina nominală.* București, Societatea de Gaz și Electricitate, 29 mai 1937.

[9] * * * *Proces-verbal pentru recepția provizorie a instalațiunilor de aburi de înaltă presiune de la Uzina Grozăvești.* București, Societatea de Gaz și Electricitate, 10 martie 1944.

Ing. Ovidiu Țuțuianu
Ministerul Energiei Electrice

* la presiune și temperatură normală.

Dr. ing. Călin Mihăileanu

În şedinţa din 4 martie 1988, Colegiul de redacţie al revistei ENERGETICA a luat cunoştinţă cu părere de rău de retragerea din activitate a preşedintelui său, dr. ing. Călin Mihăileanu.

Absolvent al Şcolii Politehnice din Bucureşti, Facultatea de Electromecanică, în anul 1945, dr. ing. Călin Mihăileanu a lucrat de la început în domeniul energiei electrice. După o perioadă de activitate directă în producţie la Întreprinderea Concordia, Departamentul Electrica, din Cîmpina, şi la Întreprinderea Regională de Electricitate din Bucureşti, în laboratoare şi ateliere electrice, a fost promovat în funcţii de conducere : inginer şef al IRE Bucureşti, după care a trecut la Ministerul Energiei Electrice unde a condus Direcţia Tehnică. În această calitate a contribuit la alegerea şi perfecţionarea soluţiilor pentru multe obiective energetice importante.

La iniţierea activităţii organizate de cercetare în domeniul energiei electrice, prin înfiinţarea, în anul 1968, a ICENERG, a fost numit director, păstrînd această calitate şi la ICEMENERG. Actuala organizare a institutului şi activitatea acestuia de la înfiinţare şi pînă în prezent sînt puternic marcate de contribuţia sa. În ultima perioadă a activităţii a îndeplinit funcţia de secretar ştiinţific al ICCE.

Paralel cu munca productivă a desfăşurat o lungă şi rodnică activitate didactică universitară în cadrul Institutului Politehnic din Bucureşti. A reprezentat, de asemenea, ţara noastră în organizaţii internaţionale cu specific energetic.

Dintre realizările profesionale ale dr. ing. Călin Mihăileanu se impun atenţiei în primul rînd o serie de contribuţii originale în protecţia motoarelor electrice sau în tratarea neutrului reţelelor de medie tensiune. Sînt, de asemenea, foarte importante cercetările D-sale privind, între altele, regimul deformant în sistemele electroenergetice, conservarea energiei şi golurile de tensiune.

Contribuţia sa la viaţa revistei ENERGETICA, exponentul autorizat al creaţiei tehnice şi ştiinţifice a energeticienilor români, s-a făcut remarcată continuu, de la primul număr apărut acum 35 de ani, dar a culminat în mod firesc în perioada în care dr. ing. Călin Mihăileanu a fost redactor responsabil. Revista Energetica a izbutit, sub direcţia sa, să atingă un înalt nivel tehnic şi ştiinţific şi să fie unanim apreciată în cercurile de specialitate.

Colegiul de redacţie, adresîndu-i călduroase mulţumiri pentru contribuţia importantă adusă la dezvoltarea energeticii româneşti, îi urează sănătate şi aceeaşi putere de muncă, exprimîndu-şi totodată convingerea că dr. ing. Călin Mihăileanu va contribui şi pe mai departe la menţinerea nivelului şi prestigiului ştiinţific al revistei ENERGETICA.

NOUTĂȚI

Cronică

REUNIUNEA COMITETULUI PENTRU ENERGIE ELECTRICĂ DIN CADRUL COMISIEI ECONOMICE A ONU PENTRU EUROPA

Comisia Economică a ONU pentru Europa (CEE—ONU) are ca obiectiv principal sprijinirea activității desfășurate în domeniile economice de către țările membre din Europa și America de Nord, activitate desfășurată atît la nivel general, cît și pe specialități. În acest scop, organele de decizie sînt constituite din reprezentanții țărilor membre, realizarea hotărîrilor luate revenind organelor de la sediul CEE—ONU din Geneva care, în felul acesta, îndeplinesc și rolul de secretariat.

În domeniul energetic există mai multe comitete de specialitate (energie electrică, gaz, cărbune) și o grupă de consilieri pentru energetică generală. Aceste comitete, care se întîlnesc periodic, de regulă anual, sînt formate din specialiști reprezentanți ai țărilor membre. Rolul de secretariat în acest domeniu este asigurat de către Divizia pentru Energie din cadrul organizației CEE—ONU.

Fiecare din aceste comitete are în subordine o serie de grupe de experți, formate tot din specialiști ai țărilor membre, și care se întrunesc periodic (la 1—2 ani). Astfel, Comitetul pentru Energie Electrică are în subordinea sa următoarele grupe de specialiști:

— mari sisteme energetice și linii electrice de înaltă tensiune;
— centrale electrice;
— relații cu mediul înconjurător;
— utilizarea rațională a energiei electrice și rețele electrice de distribuție.

În intervalul 25—28 ianuarie 1988 a avut loc la Geneva reuniunea Comitetului pentru Energie Electrică. La această reuniune s-a discutat o serie de probleme privind evoluția energetică generală a țărilor din Europa și America de Nord, prezentate în continuare mai jos.

Consumul de energie electrică

Spre deosebire de anii trecuți, în anul 1987 s-au înregistrat ritmuri mai ridicate de creștere a consumului de energie electrică, de 3—5 %. Aceste creșteri se datoresc mai multor cauze, cum ar fi:

— iarna foarte grea din anul 1977, care a impus apelarea la energia electrică pentru încălzit în măsură mult mai mare (de exemplu în Suedia, variația cu 1°C conduce la o variație de consum de 250 MW);

— criza de hidrocarburi, care a determinat intensificarea programelor naționale în domeniul hidro și în special nuc'ear, aceasta conducînd la consumuri suplimentare de electricitate, ca singura formă de utilizare a acestor resurse energetice;

— avantajele pe care energia electrică le prezintă, comparativ cu alte forme de energie, corelat și cu prețul foarte redus al acesteia, datorită centralelor nucleare foarte eficiente.

Ca urmare, trebuie arătat faptul că se înregistrează o electrificare tot mai intensă, evidențiată prin ritmul de creștere al consumului de energie electrică, de circa 2—3 ori mai intens, în comparație cu ritmul creșterii consumului de energie primară.

Structura centralelor electrice

Ca urmare a crizei petrolului s-au înregistrat două tendințe generale, și anume:

— intensificarea producției naționale de hidrocarburi, fie din zăcăminte interne, fie din Marea Nordului, pentru țările riverane;

— organizarea și dezvoltarea unor programe naționale în domeniul nuclear;

— intensificarea programelor de amenajări hidroenergetice.

În ceea ce privește programele nucleare, o serie de țări au atins ponderi foarte ridicate ale centralelor nucleare în totalul producției de energie electrică (Franța 69 %, Belgia 66 %, R.F.G. 31 % etc.). Aceste centrale s-au dovedit foarte sigure și eficiente, livrînd energia electrică la prețuri cu mult sub cele ale energiei rezultate la centralele termoelectrice pe condensație, performante. Unele din aceste țări au devenit mari exportatoare de energie electrică, țările importatoare trebuind să-și reducă producția proprie în centralele termoelectrice cu toate consecințele ce pot decurge (crize în industria minieră etc.).

Ca urmare a tuturor acestor aspecte, Franța a anunțat reducerea ritmului de instalare de noi unități nucleare la două pe an și, din anii 1994—1995, la una pe an.

Pe de altă parte, țările cu pondere foarte mare în CNE și care, de regulă, au și curbe de sarcină ascuțite nu pot realiza acoperirea acestor curbe decît printr-o mare flexibilitate în funcționarea centralelor nucleare.

Alternativa cu realizarea unor centrale hidroelectrice de acumulare prin pompaj nu poate fi luată în considerare, avînd în vedere volumul foarte mare de putere necesară pentru aceste centrale la scara acestor sisteme energetice naționale, precum și consumul propriu al acestora (randament 65—70 %) și care, pe ansamblu, conduce la consumuri proprii importante în valoare absolută.

Ca urmare, o serie de țări (Franța, R.F.G., Suedia etc.), împreună cu fabricantul, au realizat centrale nucleroelectrice cu sarcină variabilă și care pot urmări curba de sarcină.

Unele țări cu activitate mai veche în domeniul nuclear au anunțat începerea acțiunii de dezafectare a primelor CNE realizate acum cîteva decenii (de exemplu Anglia).

În domeniul hidro se manifestă creșterea potențialului național pînă la plafon sau chiar reechiparea vechilor centrale în cazul încheierii amenajării (Elveția).

În scopul creșterii eficienței generale, majoritatea țărilor au anunțat extinderea termoficării, combinat, în unele țări (Anglia), cu realizarea de centrale pe deșeuri menajere.

S-au semnalat preocupări mai substanțiale pentru implementarea surselor noi în domeniul solar (Grecia, în special în insulele mici), eolian (Suedia cu un program de 10 TWh pe țărm și 20 TWh în largul mării) și geotermal (Grecia cu o stație pilot de 2 MW și o alta în construcție de 2×60 MW).

Mai multe țări au anunțat intensificarea măsurilor de reducere a noxelor emise de centralele termoelectrice. Ca urmare, s-a înregistrat o reducere a bioxidului de sulf în zona Europa de Vest de la 51,3 mil. tone în 1984 la 44,7 mil. tone în 1985.

Rețele electrice

Rețelele electrice de transport se construiesc în principal pentru treapta de 400 kV și, în mai mică măsură, pentru treapta intermediară de 220 kV, existînd tendința generală a introducerii de transformări directe de tipul 400/110 kV.

În zonele cu mare densitate de obiective, în principal în zonele urbane, se valorifică coridoarele liniilor existente prin realizarea unor noi linii, compacte, cu capacitate mărită de transport.

În zona de Est a Europei s-a trecut la o treaptă superioară de tensiune, de 750 kV, deocamdată din motive de interconectare (U.R.S.S., Polonia, Ungaria, România, Bulgaria). În zona țărilor vest europene se studiază intens introducerea unei trepte mult mai ridicate, ca de exemplu 1100 kV (Italia).

Interconectarea la nivel european a sistemelor energetice

În prezent există mai multe grupări ce funcționează interconectat, pe zone: CAER (pentru zon de răsărit) și UCPTE (pentru zona de apus, inclusiv Iugoslavia, Grecia), NORDEL (pentru zona de nord) și, separat, Anglia.

Avantajele mari ale realizării unor interconectări la nivel european (reducere de 2—3% din puterea instalată în centralele electrice) au determinat studierea extinderii actualelor interconexiuni.

Dificultățile mari legate de realizarea interconectării în curent alternativ (linii de foarte înaltă tensiune cu implicații ecologice, menținerea riguroasă a unei frecvențe unice, convenirea juridică între multe țări participante etc.) au făcut ca această soluție, studiată încă de acum 20 de ani, să nu fie agreată.

Între timp, ca urmare a progreselor realizate în tehnica semiconductoarelor, s-au dovedit foarte fiabile și eficiente soluțiile de interconectare în curent continuu prin stații de convertare-invertare de tip spate în spate. Aceste soluții de interconectare asincronă elimină inconvenientele interconectării în curent alternativ (sincronă), permițînd și o etapizare mai flexibilă. Ca urmare, în cadrul reuniunii, s-a anunțat realizare și funcționarea în bune condiții a mai multor interconectări asincrone (Anglia—Franța prin noua legătură „Canal—2000", NORDEL—UCPTE, Austria—Cehoslovacia, U.R.S.S.—Finlanda). De asemenea, s-au anunțat alte noi interconectări în curs de realizare sau în studiu (R.D.G.—R.F.G., Ungaria—Austria, Bulgaria—Grecia în cadrul interconectării balcanice etc.).

În acest context, de o mare atenție s-a bucurat organizarea de către CEE—ONU a acțiunii de studiere a interconectării în zona europeană centrală.

Perspectiva energetică

Multe țări au anunțat preocupări pentru perspectiva anilor 2000—2005 sau chiar 2010. Se prevede o ușoară reducere a creșterii consumului de energie electrică la valori de 1—2% anual, anunțînd semnele unor saturații care, pe baza elementelor actuale, ar urma să apară la consumuri de 30 000—40 000 kWh/locuitor.

O componentă importantă a consumului o va constitui sectorul casnic, în principal consumul pentru încălzit. Se anunță, de asemenea, apariția comercială a primelor autovehicule electrice în proporție de circa 1% din total autovehicule, la nivelul anilor 2000—2005.

* * *

În concluzie trebuie arătat că reuniunea Comitetului pentru Energie Electrică din cadrul CEE—ONU a permis un important schimb de experiență și a prilejuit stabilirea de colaborări între țările membre, într-un domeniu atît de vital cum este energetica.

ing. Emil Luca
dr. ing. George Manolescu

WOLF HÄFELE (coordonator). **Energia — problemă globală. O analiză de sistem.** Editura tehnică, București, 1987, 480 p.

Lucrarea reprezintă partea a II-a a studiului *„Energy in a finite world" (Energia într-o lume finită)* elaborat în cadrul Institutului Internațional pentru Analiza Sistemelor Aplicate — IIASA, cu sediul în localitatea austriacă Laxenburg, de către Grupul de programe pentru sistemele de energie, sub coordonarea profesorului austriac Wolf Häfele. Prima parte a studiului a fost publicată în țara noastră la Editura politică, în anul 1983.

Pentru prezentul volum, selecția materialelor, coordonarea traducerii din limba engleză și comentariul introductiv, au fost realizate de dr. ing. Adrian Gheorghe.

Raportul IIASA *„Energia într-o lume finită"* face parte dintr-o foarte bogată serie de lucrări publicate după prima criză petrolieră din 1973, care a declanșat în întreaga lume o adevărată revoluție în studiul problemelor energetice, a strategiilor naționale și globale de producere și utilizare eficientă a diferitelor forme de energie.

Studiul IIASA prezintă însă o serie de caracteristici care-l detașează de alte studii referitoare la perspectiva energetică, și anume:

— în analiza efectuată cu ajutorul a circa 150 specialiști din peste 20 de țări, au fost luate în considerare toate țările lumii, grupate în șapte regiuni distincte, inclusiv țările cu economie planificată, care în multe alte studii erau lăsate deoparte. Gruparea pe regiuni a țărilor lumii a fost făcută, în principal, pe principiul asemănărilor lor energetice și economice și, în mai mică măsură, după criteriul apropierii geografice;

— analiza este efectuată pe termen lung, pînă în anul 2030, pentru două scenarii: superior și inferior de evoluție a consumului de energie;

— pornind de la premisa că în actualul context energetic mondial există un sistem de interdependențe între țările lumii, ceea ce face ca orice eveniment și acțiune în domeniul energetic să afecteze, în mai mică sau mai mare măsură, toate națiunile, în studiu este reliefată necesitatea unei analize globale, sistemice, a problemei energiei și a unei proceduri flexibile de planificare a producerii și utilizării ei pe termen lung.

Lucrarea conține șase părți care însumează 25 capitole.

În partea I *(Introducere)* se definește problema energiei sub aspectele sale principale (condiție a creșterii economice, rezerve limitate pentru sursele de energie utilizate în prezent etc.), se analizează principalii factori care afectează cererea de energie (creșterea populației, creșterea economică și progresul tehnologic) și se argumentează opțiunile autorilor în privința cadrului temporal, cadrului spațial și scenariilor analizate.

În partea a II-a *(Sursele de energie)* sînt analizate resursele fosile de energie la scară mondială. Avînd în vedere limitările care ar putea să împiedice în viitor aprovizionarea corespunzătoare cu petrol și gaze naturale (forme de energie curate și ușor transportabile) sînt cercetate mai multe opțiuni alternative: cărbunele, energia nucleară, energia solară și alte surse de energie.

În partea a III-a *(Constrîngeri)* sînt expuse constrîngerile care acționează asupra capacităților societății de a furniza energia: timpul necesar penetrării pe piață a noilor tehnologii energetice, resursele naturale limitate (apa, energia, terenul, materialele, forța de muncă), influența asupra mediului ambiant și asupra sănătății și siguranței oamenilor.

Partea a IV-a *(O balanță între cerere și ofertă: analiză cantitativă)* constituie nucleul lucrării. Aici sînt prezentate structura setului de modele ale energiei utilizate de către IIASA în analizele sale, criteriile care au stat la baza elaborării celor două scenarii și sînt interpretate rezultatele obținute.

În partea a V-a *(Perspectivele)* se încearcă schițarea perspectivelor energetice ale omenirii pentru orizontul analizat, făcîndu-se referire la posibilitățile de ameliorare a actualelor tehnologii energetice, la influența procesului de urbanizare asupra consumului de energie și la controversa dacă energia viitorului va fi asigurată cu tehnologii energetice descentralizate sau centralizate (de genul centralelor electrice).

Partea a VI-a *(Evaluări și implicații)* conține o sinteză a coordonatorului grupului asupra evaluărilor și opiniilor exprimate în studiu. Concluzia acestuia este că, cu tehnologiile de care dispunem astăzi sau care ne sînt potențial la îndemînă și utilizînd resursele lumii, așa cum le apreciem astăzi, va fi posibil să se furnizeze suficientă energie pentru o lume cu circa 8 miliarde de locuitori în anul 2030. Petrolul va continua să joace un rol important în baza energetică mondială, dar el se va obține în mod diferit față de cel utilizat astăzi: prin lichefierea cărbunelui sau prin exploatarea unor resurse care necesită investiții specifice foarte mari.

Aprecierile studiului sînt prudente în privința pătrunderii semnificative a energiei solare în balanța energetică mondială.

Pentru țările în curs de dezvoltare, a căror pondere în necesarul mondial de energie va fi importantă în perspectivă, o alternativă viabilă va fi energetica nucleară, deși resursele financiare și posibilitățile limitate ale industriilor acestor țări de asimilare a tehnologiilor de vîrf vor îngreuia accesul acestora la tehnologia nucleară. O alternativă energetică promițătoare ar putea fi utilizarea pe scară largă a hidrogenului, cu rezerva impusă însă de timpul necesar învingerii dificultăților tehnologice asociate.

Gheorghe Vâlcereanu — ISPE

СОДЕРЖАНИЕ

ЭНЕРГЕТИКА В ЭКОНОМИЧЕСКИХ ЕДИНИЦАХ

КОНСТАНТИН НОРЕЛ КРИСТЯ, ДАН ОХЛГИЕССЕР АНТОН ПОСЛЭНЕСКУ: Иерархическая система контроля промышленных энергетических систем 193—196

АТТИЛА ГАЛФИ, АЛЕКСАНДРУ ХОРВАТ, ЛАЙОШ ЛОСОНЦИ, ЛАСЛО ПАТАКФАЛВИ: Система контроля за потреблением электроэнергии 196—200

УПРАВЛЕНИЕ И АВТОМАТИКА ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

СЕБАСТИАН ИОНЕСКУ, МАРИОАРА ИТОАФЭ: Анализ устойчивости систем при небольших помехах на основе собственных значений матрицы состояния 201—212

ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

МИРЧА ЧОБАНУ, ПЕРСИДА ЯНКОВИЧ, МАНФРЕД ШТЕЙН: Анализ надежности — эффективное средство для установления приоритета в измерениях роста надежности в работе энергетических установок 213—216

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ

СОРИН МУНТЯНУ, ГЛЕБ ДРЭГАН, ИОАН ЛУНГУ, ЛИВИУ ДРЭГАН: Расчет атмосферных перенапряжений пи попадании молнии на противозащитный трос с учетом коронного импульсного разряда 217—220

МИРЧА ГУШЭ, НИКОЛАЕ ГАВРИЛАШ: Усовершенствование конструкции автоматического регулятора для искрогасительной катушки 221—225

НОВЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

ИОН БЕРИНДАН, ТИБЕРИУ МОЛНАР, РЕКА КОВАЧ-ДОБОЛИ: Соображения, касающиеся газификации ракитовой древисины в целях получения технологического газа 226—229

ИСТОРИЯ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ

ОВИДЮ ЦУЦУЯНУ: Теплоэлекростанция Грозэвешть Бухарест: свыше 75 лет сушествования 230—233

НОВОСТИ

ИЭ МИРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ 212,216
ХРОНИКА 235—236
РЕЦЕНЗИИ 237

INHALT

DIE ENERGIEWIRTSCHAFT IN INDUSTRIEBETRIEBEN

CONSTANTIN NOREL CRISTEA, DAN OHLGIESSER, ANTON POSLĂNESCU: Hierarchisiertes Überwachungssystem für industrielle Energiesysteme 193—196

ATTILA GALFI, ALEXANDRU HORVATH, LAJOS LOSONCZI, LASZLO PATAKFALVI: Ein System zur Überwachung des Stromverbrauchs 196—200

DIE LEITUNG UND REGELUNGSTECHNIK DER VERBUNDNETZE

SEBASTIAN IONESCU, MARIOARA ITOAFĂ: Die Stabilitätsanalyse der Verbundnetze während kleiner Störungen, auf Grund der Eigenwerte der Zustandsmatrix 201—212

WÄRMEKRAFTWERKE

MIRCEA CIOBANU, PERSIDA IANCOVICI, MANFRED STEIN: Die Zuverlässigkeitsanalyse — ein wirksames Mittel zur Bestimmung der Prioritäten unter den Massnahmen zur Erhöhung der Betriebssicherheit von Energieanlagen 213—216

ELEKTRISCHE NETZE

SORIN MUNTEANU, GLEB DRĂGAN, ION LUNGU, LIVIU DRĂGAN: Die Berechnung der atmosphärischen Überspannungen während Blitzeinschlägen auf Schutzleitern mit Berücksichtigung der Corona-Impulsentladungen 217—220

MIRCEA GUȘĂ, NICOLAE GAVRILAȘ: Verbesserungen zum Bau des automatischen Reglers für Löschspulen 221—225

NEUE ENERGIEQUELLEN UND- VERFAHREN

ION BERINDAN, TIBERIU MOLNAR, REKA KOVACS-DOBOLYI: Betrachtungen zur Vergasung des Korbweidenholzes zwecks Erzeugung von Synthesegas 226—229

DIE GESCHICHTE DER ENERGIEWIRTSCHAFT

OVIDIU ȚUȚUIANU: Das Wärmekraftwerk Grozăvești-Bukarest— bei über 75 Betriebsjahren 230—233

NEUIGKEITEN

DIE ENERGIEWIRTSCHAFT WELTWEIT 212,216

CHRONIK

EMIL LUCA, GEORGE MANOLESCU: Das Treffen des Ausschusses für Elektroenergie der UNO-Wirtschaftskommission für Europa 235—236

BUCHBESPRECHUNGEN 237

SOMMAIRE

L'ÉNERGIE DANS L'ENTREPRISE

CONSTANTIN NOREL CRISTEA, DAN OHLGIESSER, ANTON POSLĂNESCU: Système hiérarchisé pour la surveillance des systèmes électroénergétiques 193—196

ATTILA GALFI, ALEXANDRU HORVATH, LAJOS LOSONCZI, LAZLO PATAKFALVI: Système de surveilance de la consommation d'énergie électrique 197—200

CONDUITE ET AUTOMATIQUE DES SYSTEMES D'ÉNERGIE

SEBASTIAN IONESCU, MARIOARA ITOAFĂ: L'analyse de la stabilité des systèmes d'énergie lors des perturbations faibles à l'aide des valeurs propres de la matrice d'état 201—212

CENTRALES THERMIQUES

MIRCEA CIOBANU, PERSIDA IANCOVICI, MANFRED STEIN: L'analyse de la fiabilité, comme moyen efficace pour déterminer les priorités des mesures visant a l'accroissement de la sécurité de service des installations énergétiques 213—216

RÉSEAUX ET POSTES ÉLECTRIQUES

SORIN MUNTEANU, GLEB DRĂGAN, IOAN LUNGU, LIVIU DRĂGAN: Le calcul des surtensions atmosphériques lors d'un coup de foudre sur le fil de garde, compte tenu de la décharge couronne à l'impulsion 217—220

MIRCEA GUȘĂ, NICOLAE GAVRILAȘ: Le perfectionnement de la construction du régulateur automatique pour les bobines d'extinction 221—225

NOUVELLES SOURCES ET TECHNOLOGIES ÉNERGÉTIQUES

ION BERINDAN, TIBERIU MOLNAR, REKA KOVACS-DOBOLYI: Considérations sur la gazéification du bois d'osier pour obternir le gaz de synthèse 226—229

HISTOIRE DE L'ÉLECTRIFICATION

OVIDIU ȚUȚUIANU: La centrale thermique Grozăvești-București marque plus de 75 ans d'existance 230—233

NOUVEAUTÉS

L'ÉNERGIE DANS LE MONDE 212,216

CHRONIQUE

EMIL LUCA, GEORGE MANOLESCU: La réunion du Comité pour l'Énergie Electrique auprès de la Comission Economique pour l'Europe 233—236

COMPTE-RENDU 237

CONTENTS

ENERGY IN THE ENTERPRISES

DC 621.311:681.3.06

CONSTANTIN NOREL CRISTEA, DAN OHLGIESSER, ANTON POSLĂNESCU: Hierarchized System for the Industrial Energy Systems Survey

The paper presents the concerns and achievements of the research workers with the Electrotechnical Research and Design Institute — ICPE towards achieving some industrial energy oriented informatics systems.

The use of the informatics system in the industrial energy branch is based on the economic efficiency criterion increase by the resources consumption decrease, the efficient use of facilities, by technological and operation regimes optimizations.

The design and fulfillment stages of such a system, the hardware and software for implementation in this particular item, the operation manners, present and future concerns towards the energy control improvement methods are presented.

The performances and conclusions resulted from the pilot installation operation manufactured within the Institute are shown.

The implementation of such a survey and control system to an industrial energy system results immediately in the correct analysis of energy processes, in the quick and thorough knowledge of the events occuring in the entire surveyed energy system, the reliability increase by avoiding faults generated by human errors and in the increase of the industrial energy system availability by surveying it with a flexible and versatile instrument.

[Energetica 36 (1988), nr. 5, p. 193—196]

DC 66.012.3.004.5

ATTILA GALFI, ALEXANDRU HORVATH, LAJOS LOSONCZI, LASZLO PATAKFALVI: Electric Energy Consumption Survey System

The electric energy consumption control equipment E DC EE-36 is meant for the real time collection of information regarding the surveyed consumers electricity consumption as well as for the data processing. The task of these processing is the real time information supply for the operative checking of the surveyed consumers as well as the recording and supply by request of the necessary information for the qualitative and quantitative time behaviour analysis of the surveyed consumers.

[Energetica 36 (1988), nr. 5, p. 196—200]

ENERGY SYSTEMS CONTROL AND AUTOMATION

DC 621.311:621.2.016.35

SEBASTIAN IONESCU, MARIOARA ITOAFĂ: Networks Stability Analysis During Small Disturbances by Means of State Matrices Eigenvalues

The paper presents a new calculation method needing the determination of the state matrix eigenvalues as well as the program STAB used with the Energy Studies and Design Institute — ISPE for the study of complex networks stability during small oscillations regimes. The implementation within the program STAB of the supplementary option regarding the nuclear plants modelling increases its generalizing degree and makes it suitable for the computation necessities for the present development stage of the national power system.

[Energetica 36 (1988), nr. 5, p. 201—212]

THERMAL POWER PLANTS

DC 621.3.002.5: 621.3.019.3

MIRCEA CIOBANU, PERSIDA IANCOVICI, MANFRED STEIN: Reliability Analysis, an Efficient Means for Establishing the Priorities in the Energy Installations Reliability Increase Measures

The paper outlines different situations needing safety computations for the elaboration of solutions for power installations. The case of power plants installation design for a prescribed availability level of power enterprises is outlined.

[Energetica 36 (1988), nr. 5, p. 213—216]

ELECTRICAL NETWORKS

DC 537.525.2: 551.594.221

SORIN MUNTEANU, GLEB DRĂGAN, IOAN LUNGU, LIVIU DRĂGAN: The Calculation of Atmospheric Overvoltages During Lightning Strokes on Protection Wires With Regard to Impulse Corona Discharges

The papers represents the continuous efforts of the authors in analyzing the transient phenomena produced by lightning strokes based on the general EMTP method. The proposed model uses the advantages offered by the propagation phenomena calculation considering the impulse corona discharges and constitutes an analysis model which is closer to reality.

[Energetica 36 (1988), nr. 5, p. 217—220]

DC 621.316.731: 621.311.935

MIRCEA GUȘĂ, NICOLAE GAVRILAȘ: Constructive Improvements of Extinction Coils Automatic Regulators

The automatic regulation of extinction coils ensures a real improvement of their efficiency. The automatic device manufacturated by the authors a few years ago has been subjected to some constructive changes leading to the improvement of its performances and its adaptation to the network exploitation requirements. The aim of the paper is to justify the necessity of modifications, the way they are achieved as well as their effects.

[Energetica 36 (1988), nr. 5, p. 221—225]

NEW ENERGY SOURCES AND TECHNOLOGIES

DC 662.63: 662.74

ION BERINDAN, TIBERIU MOLNAR, REKA KOVACS DOBOLYI: Considerations About the Osier Willow Wood Gasification in Order to Obtain Synthesis Gas

This paper presents certain theoretical and phenomenological aspects about the gasification of forest species with a rapid regenerative cycle (osier willow, poplar).

The osier willow wood reactivity is studied by means of a theoretical calculus as well as by thermo-differential analysis.

Further on, the laboratory outfit diagram and the results obtained through pyrogenation of osier willow wood in order to get charcoal are presented.

[Energetica 36 (1988), nr. 5, p. 226—229]

THE HISTORY OF ENERGY

OVIDIU ȚUȚUIANU: The Thermal Power Plant Groza-veşti—Bucharest at Over 75 Years 230—233

NEWS 212,216

ENERGY WORLDWIDE

CHRONICS

EMIL LUCA, GEORGE MANOLESCU: The Meeting of the Electric Energy Committee of the UNO Economic Commission for Europe 235—236

REVIEW 237

COLEGIUL DE REDACȚIE

Președinte, redactor responsabil: **dr. ing. Eugeniu Pavel**

Redactori responsabili adjuncți: **dr. ing. Mihai G. M. Pop, dr. ing. Gheorghe Bălan, ing. Radu Opincaru**

Secretar de redacție: **dr. ing. Teodor Popa**

Gestiune financiară: **ec. Pompiliu Silvășanu**

Orientări în energetică: **dr. ing. Mario Duma**

Energetica în unități economice: **ing. Ion Mălereanu, ing. Alexandru Florescu**

Dezvoltarea sistemelor energetice: **dr. ing. Nicolae Armencoiu, dr. ing. George Manolescu**

Conducerea și automatica SE: **dr. ing. Victor Romert, dr. ing. Jean Constantinescu**

Centrale termoelectrice: **conf. dr. ing. Costin Moțoiu, ing. Romeo Zbarcea**

Centrale hidroelectrice: **dr. ing. Gheorghe Luca**

Centrale nuclearoelectrice: **ing. Adrian Georgescu, prof. dr. ing. Nicolae Dănilă, ing. Mircea Tarța**

Rețele electrice: **ing. Dinu Voinea, ing. Nicolae Georgian**

Alimentare cu căldură: **ing. Nicolae Niculescu**

Surse și tehnologii noi: **ing. Constantin Popescu**

Tehnologii chimice în energetică. Poluare: **dr. chim. Maria Maftei**

Organizarea producției și a muncii: **ing. Miron Popescu**

Terminologia energetică: **dr. ing. Iosif Cserveny**

Istoria electrificării: **ing. Paul Cartianu**

Noutăți: **ing. Mihai Nistor, ing. Romulus Sfichi**

Centre universitare și industriale:
București: **conf. dr. ing. Alexandru Selischi**
Iași: **prof. dr. ing. Alexandru Poeată**
Timișoara: **prof. dr. ing. Viorel Negru**
Cluj-Napoca: **conf. dr. ing. Silviu Darie**

Acest număr a fost realizat cu ajutorul următorilor secretari ai grupelor de specialitate:

— **ing. Angela Perea** — Energetica în unități economice
— **dr. ing. Marius Pomârleanu** — Conducerea și automatica sistemelor energetice
— **ing. Anton Roșu** — Centrale termoelectrice
— **dr. ing. Traian-G. Ionescu** — Rețele electrice
— **ing. Ion Turcu** — Surse și tehnologii noi

Revista „ENERGETICA" este editată și administrată de Institutul de Cercetări și Modernizări Energetice prin Oficiul de Informare Documentară pentru Energetică.
Vasile Pleșca — șef OIDE, **Ana Maria Chivu** — redactor

Revista ENERGETICA — publicație lunară, reflectă preocupările spirituale și realizările materiale în domeniul energeticii. Funcționează în conformitate cu **ROF** aprobat cu Ordinul nr. 97/1987, publicat în numărul 4/87 al revistei. Elaboratorii de lucrări propuse pentru publicare sînt rugați să consulte *„Îndrumările pentru întocmirea și prezentarea lucrărilor propuse pentru a fi publicate în revista Energetica"*, *„Ghidul pentru avizarea lucrărilor propuse pentru a fi publicate în revista Energetica"* apărute în numărul 12/86, precum și *„Planul tematic al revistei Energetica pe anii 1987—1990"* publicat în nr. 5/1987 al revistei.

Instituțiile pot achita abonamentele în contul de virament nr. 30.11.8.01.01 — BN R.S.R. fil. sector 3. Costul unui abonament: 144 lei anual; costul unui exemplar: 12 lei.

41 401

ANNOUNCEMENTS FOR READERS ABROAD

- **The review "Energetica" can send on request from publications abroad reports translated in one of the worldwide spoken languages**
- **The review "Energetica" proposes a publication exchange with similar reviews and in relating fields**
- **The review "Energetica" provides and publishes or introduces books on energy received at the editorial office. Reviews and presentations of books sent on this purpose to the editorial office can be published as well**
- **The review "Energetica" publishes on request from authors abroad reports of energy or other materials: technical and scientific news, inventions-innovations, information about technical and scientific symposia, etc. written in one of the worldwide spoken languages**
- **Readers from abroad can subscribe through: ROMPRESFILATELIA — sectorul import-export, P. O. Box 12—501 telex 10376 prsfir, Calea Griviței nr. 64—66, București — România.**

Redacția și administrația: București 79619, Bd. Energeticienilor nr. 8, sect. 3
Telefon: 20.67.30, 21.46.30

Tiparul: Întreprinderea Poligrafică „Informația", București
str. Brezoianu 23—25 c. 2191

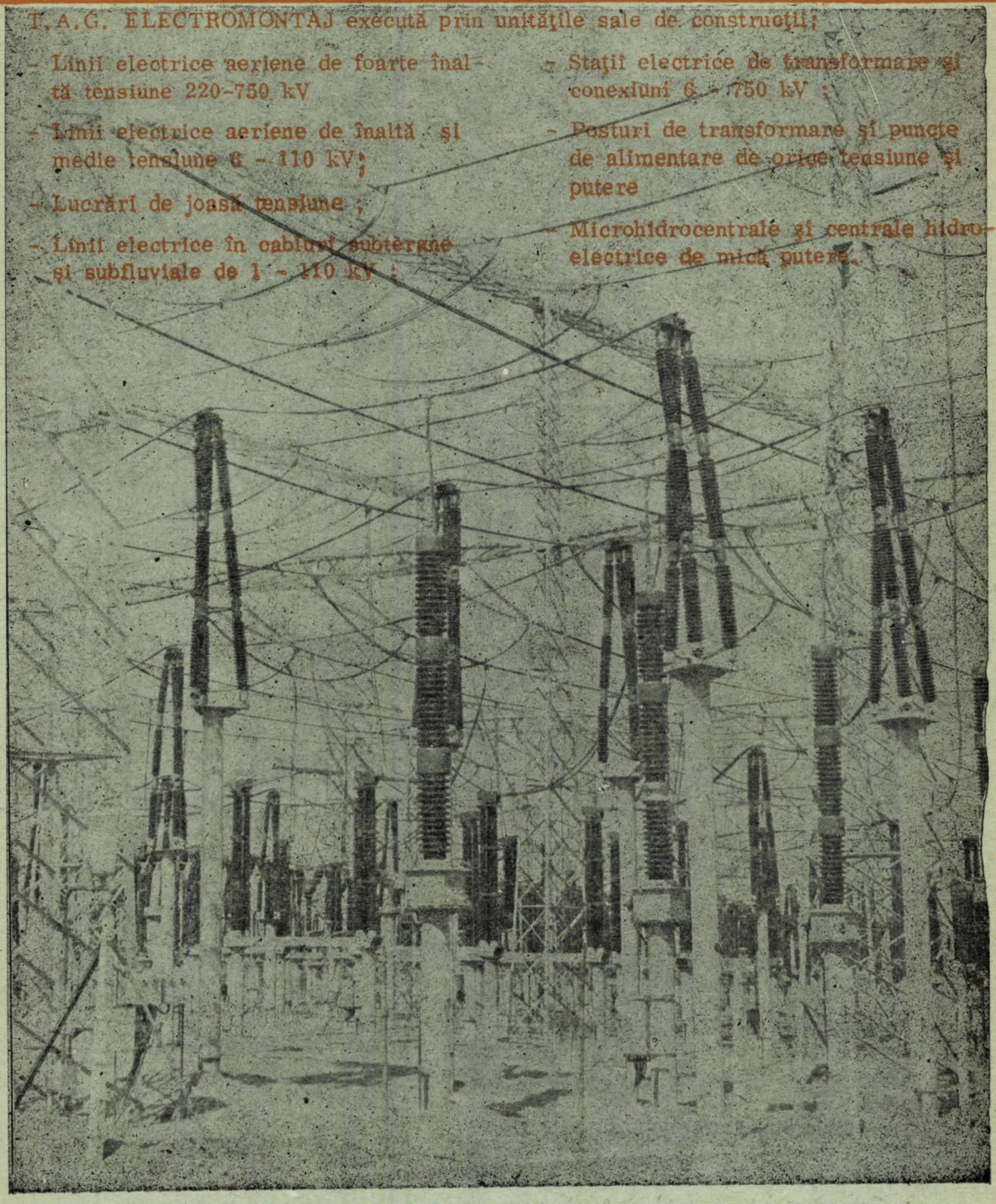
MUSZAKI INFORMÁCIÓS KÖNYVTÁR BUDAPEST

T.A.G.-ELECTROMONTAJ

TRUSTUL ANTREPRIZA GENERALA "ELECTROMONTAJ"
Bucureşti, sect.2, calea Moşilor nr.158, telefon 16.63.30

T.A.G. ELECTROMONTAJ execută prin unităţile sale de construcţii:

- Linii electrice aeriene de foarte înaltă tensiune 220-750 kV
- Linii electrice aeriene de înaltă şi medie tensiune 6 - 110 kV;
- Lucrări de joasă tensiune ;
- Linii electrice în cabluri subterane şi subfluviale de 1 - 110 kV ;
- Staţii electrice de transformare şi conexiuni 6 - 750 kV ;
- Posturi de transformare şi puncte de alimentare de orice tensiune şi putere
- Microhidrocentrale şi centrale hidroelectrice de mică putere.

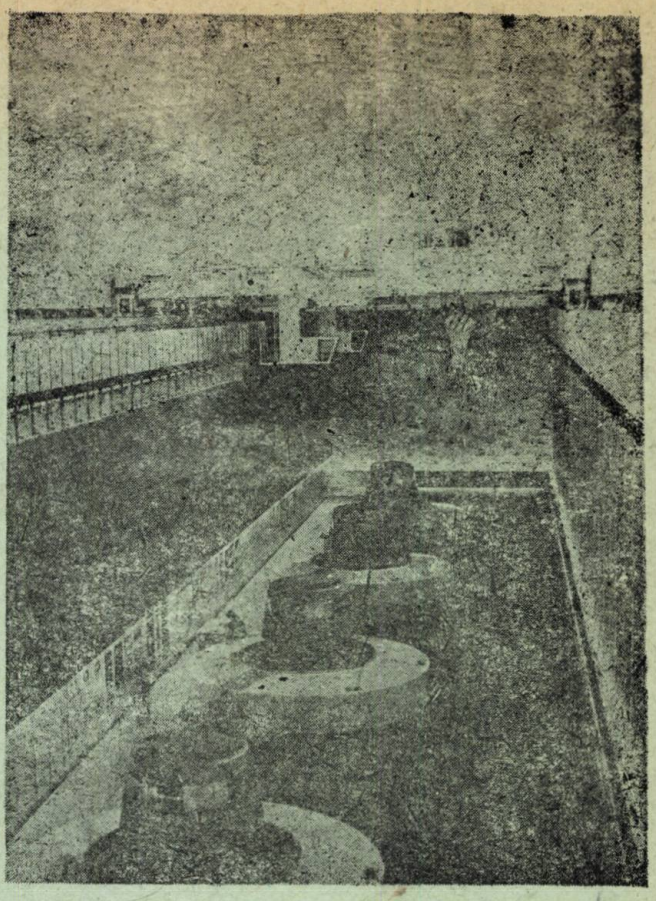


La executarea instalaţiilor electrice T.A.G. "Electromontaj" foloseşte procedee tehnologice moderne de mare productivitate, care conduc la durate scurte de execuţie şi la un înalt nivel calitativ al lucrărilor.

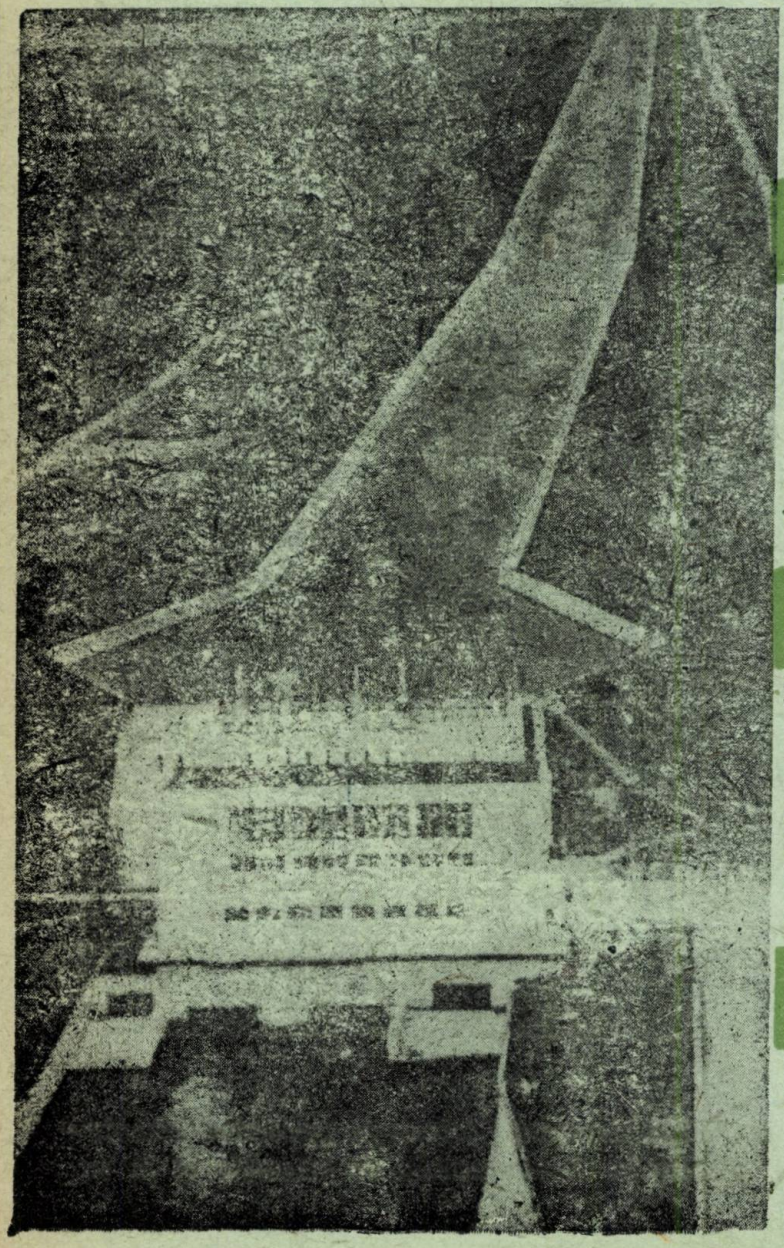
I.S.P.H.

INSTITUTUL DE STUDII ŞI PROIECTĂRI HIDROENERGETICE

1984 MAJ 11



ISPH-Designing Institute with complex profile offers :



RIVER BASIN DEVELOPMENT STUDIES

- hydroelectric developments
- multipurpose hydraulic developments
- special hydraulic structures

SPECIAL ACTIVITIES

- hydrological and hydrogeological studies
- engineering-geological investigations
- geotechnical and geophysical explorations, soil and rock mechanic investigations
- topographical surveys and mapping

SPECIAL SERVICES

- preliminary studies and designs
- feasibility studies
- final designs
- detailed construction drawings
- tender documents and contracts
- inspection and supervision
- expert's reports

29, Republicii Blvd., 79669 Bucharest,
Romania,
Phone 147270, Telex 11-443 i.s.p.h.r.

E 2039 ETE

MW 6

Referatul 1988 NOV 01

Cuprins

ENERGETICA ÎN UNITĂȚI ECONOMICE

EUGENIU PAVEL: **Receptoare trifazate dezechilibrate. Caracteristici și particularități de funcționare în regimuri stabilizate** *(cu prezentare în limba engleză)* 241

IOAN FELEA: **Considerații privind stabilirea stărilor optime de funcționare ale stațiilor de transformare pentru alimentarea cu energie electrică a consumatorilor industriali din domeniul construcțiilor de mașini** 250

CENTRALE NUCLEAROELECTRICE

ADRIAN RUSU: **Fuziunea nucleară rece** 258

REȚELE ELECTRICE

ARIE A. ARIE, LUCIA FETCU: **Utilizarea metodei matricelor de transfer la studiul vibrațiilor liniilor electrice aeriene** 262

GHEORGHE CREȚU, MAGDALENA BOGDAN, MARIAN VOICU: **Măsurători efectuate în stațiile electrice de 110 kV (Chitila, Ploiești Nord și Valea Largă) ce alimentează calea ferată electrificată în vederea evidențierii influenței regimului deformant și nesimetric** 268

ORGANIZAREA PRODUCȚIEI ȘI A MUNCII

FĂNICĂ VATRĂ, ANDREI CRISTOVICI: **Efectele acțiunii cîmpului electric generat de instalațiile electrice de înaltă și foarte înaltă tensiune asupra corpului omenesc și concluzii pe plan mondial privind această problemă** 275

NOUTĂȚI

CRONICĂ

NICOLAE DĂNILĂ: **A XIV-a Consfătuire a termoenergeticienilor, Brașov — decembrie 1987** 280

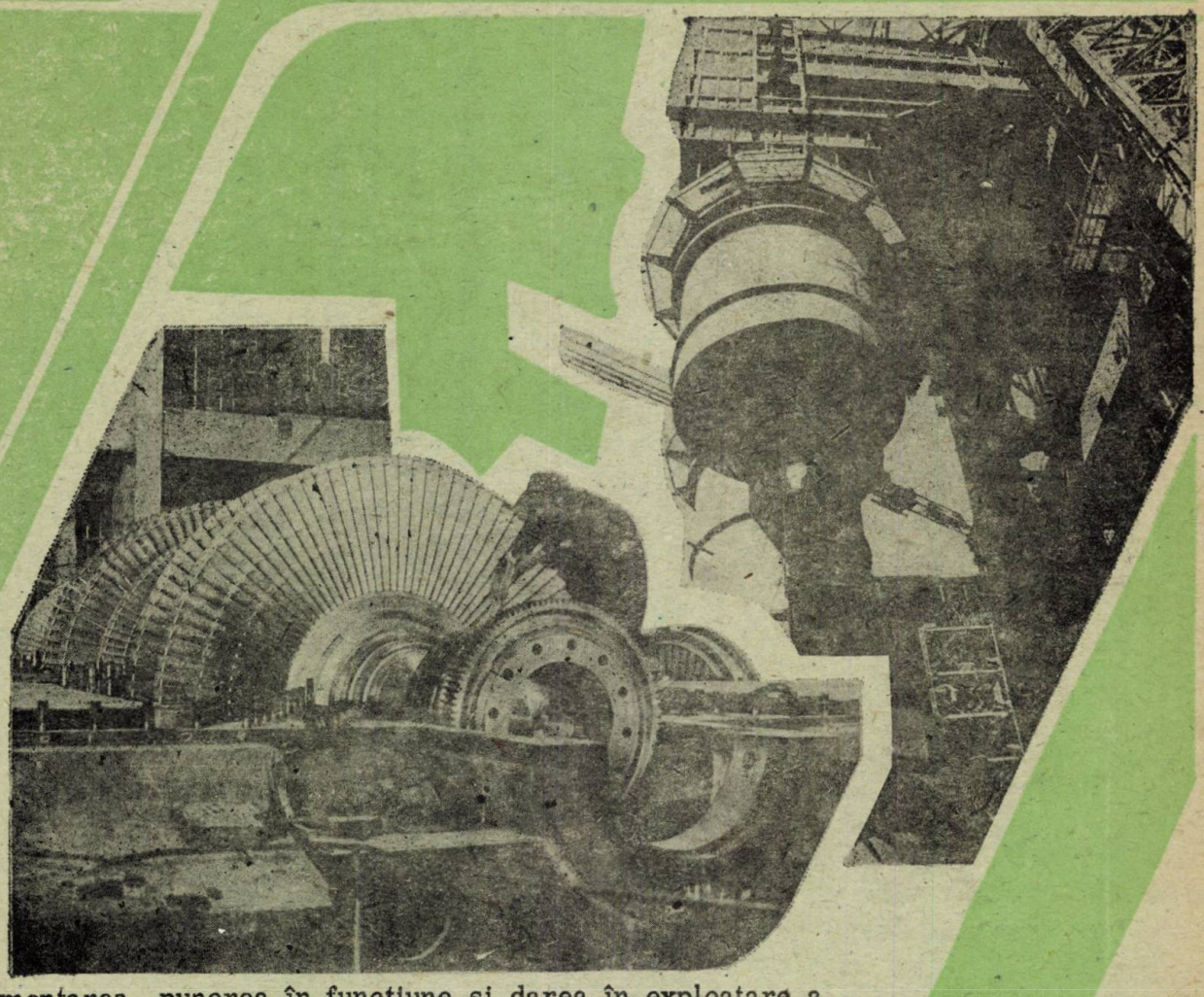
INVENȚII — INOVAȚII 282

DIN ENERGETICA MONDIALĂ 279, 283

VOLUMUL XXXVI
BUCUREȘTI
IUNIE 1988

energetica

T.A.G. ENERGOMONTAJ



Execută montarea, punerea în funcţiune şi darea în exploatare a echipamentelor şi instalaţiilor energetice pentru centrale termoelectrice şi hidroelectrice

Echipamente şi instalaţii pentru centrale termoelectrice şi centrale electrice de termoficare
- cazane de abur de mare capacitate şi parametri înalţi de funcţionare
- turbine cu abur de puteri unitare pînă la 345 MW
- instalaţii de combustibil pentru cărbuni, păcură, gaze
- alte instalaţii termomecanice şi mecanice aferente centralelor termoelectrice.

Echipamente şi instalaţii pentru centrale hidroelectrice şi instalaţii hidrotehnice :
- turbine hidraulice de orice tip, pînă la puteri unitare de 176 MW, conducte forţate
- echipamente şi alte instalaţii pentru centrale hidro şi termoelectrice
- echipamente şi instalaţii pentru ecluze.

Echipamente şi instalaţii electrice pentru centrale termoelectrice şi hidroelectrice, staţii electrice şi instalaţii speciale :
- instalaţii de comutaţie primară pînă la tensiunea de 400 kV inclusiv
- instalaţii de servicii interne în centrale şi staţii electrice
- instalaţii de comutaţie secundară şi de automatizare.

București, Calea Dorobanți nr. 165, telefon 79.70.20, telex 11355

ENERGETICA

ORGAN AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE ȘI AL CONSILIULUI NAȚIONAL AL INGINERILOR ȘI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

SUB ÎNDRUMAREA CONSILIULUI ȘTIINȚIFIC AL INSTITUTULUI CENTRAL DE CERCETĂRI ENERGETICE

Anul 36 Nr. 6 Iunie 1988

Energetica în unități industriale

Receptoare trifazate dezechilibrate. Caracteristici și particularități de funcționare în regimuri stabilizate

Dr. ing EUGENIU PAVEL*

Descriptori: sisteme trifazate, regimuri nesimetrice, regimuri dezechilibrate

Studiul schemelor electrice trifazate dezechilibrate a fost utilizat cu precădere în calculele speciale ale curenților de scurtcircuit și ale defectelor nesimetrice din sistemele electroenergetice. Aplicațiile calculului cu componente simetrice au avut o deosebită importanță pentru rezolvarea problemelor de proiectare și dimensionare a instalațiilor, în proiectarea și dimensionarea instalațiilor, în proiectarea protecției prin relee, automaticii etc.

Un aspect nou a fost evidențiat printr-o serie de lucrări și cercetări românești [3, 4], din care a rezultat că receptoarele dezechilibrate pot fi considerate ca fiind un fel de convertizoare de putere de componente simetrice. Receptoarele dezechilibrate injectează în rețele puteri și energii ale componentelor homopolare și inverse, producînd în acest mod un consum tehnologic suplimentar în rețele (pierderi suplimentare în rețele). Evaluările făcute arată că astfel de pierderi pot ajunge la valori de ordinul sutelor de megawattore anual pentru sisteme electroenergetice de dimensiunile celui românesc.

Articolul de față analizează schemele echivalente ale receptoarelor și consumatorilor dezechilibrați, remarcindu-se importanța componentelor simetrice de calcul ale impedanțelor. În acest fel, sistemele trifazate de impedanțe pot fi înlocuite cu scheme echivalențe de sisteme simetrice de calcul. Schemele sistemelor de impedanțe pot fi grupate în impedanțe echilibrate de calcul și impedanțe dezechilibrate de calcul. Se discută și se analizează influența acestor categorii de impedanțe asupra puterilor componentelor simetrice. Rezultă o serie de concluzii practice privind caracterizarea receptoarelor dezechilibrate, posibilitatea de principiu a compensării dezechilibrului, precum și în legătură cu efectele energetice asupra rețelelor de alimentare și asupra celorlalți consumatori simetrici.

Aspectele prezentate au un caracter inedit și se consideră că aplicațiile pot avea importanță în primul rînd în calculele regimurilor de funcționare ale consumatorilor.

The study of unbalanced three-phased circuit diagrams has been undertaken particularly within the frame of the special computation of short-circuit currents and of grid unsymmetrical faults. The application of symmetrical component computation has had a special importance for solving up facility designing and sizing issues, as well as for relay-assisted protection and automation designing.

Several Romanian studies and investigations [3, 4] have proven that unbalanced receivers may be considered as a sort of symmetrical component power converters. The unbalanced receivers feed the power and the energy of the homopolar and inverse components into the grid thus they engender an additional power consumption (additional power losses). Assessments prove that such losses may reach yearly values of hundreds MWh for power grids such as the Romanian size one.

The present article deals with the issue of unbalanced receiver and consumer equivalent diagrams, with emphasis on the importance of impedance symmetrical computational components. The impedance system schemes may be divided into balanced impedance computational schemes and unbalanced ones. The influence of these impedance categories on symmetrical component powers is also approached. Several practical conclusions are finally set forth with respect to unbalanced receiver characteristics, to the main possible ways of unbalance compensation, as well as to unbalanced receiver energy effects on supply grids and other symmetrical consumers.

The issues approached in the article display a topical character, with possible applications particularly in consumer operating regime computation.

Unbalanced three phase loads. Characteristics and peculiarities in steady-state operating regime

The issues of unbalanced electric power three-phase systems, such as unbalanced loads, make up the subject of many research studies since the very initiation of three-phase applications.

The applications of the symmetrical coordinate method are particularly connected to short-circuit and unsymmetrical fault issues, as studies proceeding the design and specification of equipment characteristics in electric power systems.

A new aspect has been pointed out by several Romanian works [3, 4], demonstrating that unbalanced loads may be regarded as power converters of current and power symmetrical components.

The unbalanced loads inject the electric power of the zero and inverse sequence components into grids, increasing their power losses alongside with the well known nuisances resulted from the unsymmetrical voltages.

* Dr. ing. Eugeniu Pavel — Institutul Central de Cercetări Energetice

Within this paper, the author analyses the characteristics of the unbalanced load and of the equivalent schemes of the unbalanced and unsymmetrical power consumers.

A three-phase impedance system may be divided into two parts:

— a balanced part which may be expressed by the relations:

$$z_{RE} = z_{SE} = z_{TE} = z_h$$

— an unbalanced part which may be expressed by:

$$z_{RN} = z_d + z_i$$

$$z_{SN} = a^2 z_d + a z_i$$

$$z_{TN} = a z_d + a^2 z_i$$

The significance of the indices is the following:

R, S, T — phase denomination

E = balanced

N = unbalanced

$$a = 1 \angle \frac{2\pi}{3} = -1/2 + j\sqrt{3}/2$$

The division of the impedances enables interpretation of the circulation of the zero and inverse sequence electric power. The decomposition of a three-phase impedance system into symmetrical sequences is always geometrically possible ; physically, it is based on the following commentary:

— the decomposition of the impedance system differs from that of the current and voltage three-phase systems, due to the different nature of the two quantity categories. The electric currents and voltages are sinusoidal quantities, while the impedances are constant quantities;

— as a rule, the real part of the impedances in an equivalent load scheme has to be non-negative. All the vectors representing the phase impedance are therefore located in the 1st or 2nd quadrant.

The unbalanced part of the impedance system makes up a three vector group, whose end-points are situated in the origin of the coordinates, i.e. the sum of the three vectors is zero. At least, one of the vectors is obviously located in the 2nd or 3rd quadrant, i.e. at least one of the impedances has its real part below zero (negative).

In other words, under special conditions, the unbalanced part of impedance system may be equivalent to a generator.

The characteristics of an unbalanced electric consumer may be expressed by the following coefficients (proposed by the author) devised from the equivalent scheme:

$$k_d = \frac{z_d}{z_h}$$

(the ,,unbalanced direct coordinate coefficient")

$$k_i = \frac{z_i}{z_h}$$

(the ,,unbalanced inverse coordinate coefficient")

By extension of the meaning, we can define:

— ,,the unbalance coefficient"

$$k_N = k_d + k_i$$

— ,,the unbalance difference coefficient"

$$k_{NN} = k_d - k_i$$

— ,,the R-phase coefficient"

$$k_R = \frac{z_R}{z_h} = 1 + k_N$$

— ,,the S-phase coefficient"

$$k_S = \frac{z_S}{z_h} = 1 - \frac{1}{2} k_N - j \frac{\sqrt{3}}{2} k_{NN}$$

— ,,the T-phase coefficient"

$$k_T = \frac{z_T}{z_h} = 1 - \frac{1}{2} k_N + j \frac{\sqrt{3}}{2} k_{NN}$$

The effects of the unbalanced loads on the grid and on the other balanced consumers is better expressed by the power circulation.

The paper sets forth the power expressions for different sequences. In these relations, the zero sequence impedance has to be added with zero sequence equivalent impedance of the power system:

$$z_{h\Sigma} = z_h + z_{h(system)}$$

The following sentences are valid:

— the balanced loads always receive power independently of the voltage symmetry;

— the extremely unbalanced loads provide unsymmetrical sequence power (from z_N to z_h);
— the direct sequence power of the load unbalanced part has the expression:

$$S_{dN}/S_{dE} = \frac{k_d^3 + k_i^3 - 2k_d k_i}{1 - k_d k_i}$$

where:

$$S_{dE} = S_E \frac{|1 - k_d k_i|^2}{|1 + k_d^3 + k_i^3 - 3k_d k_i|^2}$$

and:

$$S_E = 3z_h \frac{|E_d|^2}{|z_h|^2}$$

S_E is the power resulting when a symmetric voltage E_d is applied to a balanced load z_h. The polarity of the power real part depends on the z_h real part.

S_{dE} is the direct sequence power in the balanced part of the load (if $S_E \geqslant 0$, then $S_{dE} \geqslant 0$) is also valid.

S_{dN} is the direct sequence power in the unbalanced part of the load. It is obvious that the S_{dN} polarity depends on k_d and k_i. These coefficients are complex numbers. For examination of the power variation the case in which the imaginary parts of k_d and k_i are zero (k_d and k_i are real numbers), is of particular interest. Under these conditions, Fig. 1 presents the power plane. Fig. 2 and 3 present the variation of the power along the bisecting line of the 1-st and 3-rd quadrants as well as the bisector of the 2-nd or 4-th quadrants.

The main conclusions of this paper are:

— the analysis of electric power system unsymmetrical coordinates is very important for detecting the parasitic power consumption;

— the symmetrical coordinate method enables underlining the unbalanced consumer influence over power system balanced elements;

— the unbalanced load is better characterised by the "unbalance coefficients", whose limits must be standardised;

— the effects of the unbalanced loads may be computed and measured by the power-meter for zero and inverse sequence components;

— the existence or non-existence of electrical currents unsymmetrical coordinates doesn't characterise the load as such, because the currents components also depend on the zero-sequence of the impedance rated upstream of the unbalanced load. Even in case the load remains invariable, the zero and inverse sequence of the currents may also vary, function of the power system characteristics.

Studiul schemelor trifazate dezechilibrate a fost utilizat cu precădere în calculele speciale ale curenților de scurtcircuit din sistemele electroenergetice complexe. Un aspect nou a fost scos în evidență în lucrările publicate de prof. A. Țugulea[3, 4], în care, urmărindu-se „circulația" puterilor și energiilor dintr-o rețea complexă, cuprinzînd și receptoare dezechilibrate, nesimetrice s-a constatat că astfel de receptoare se comportă ca un fel de convertizoare de putere (și energie) ale componentelor simetrice.

Receptoarele nesimetrice „produc "putere (și energie) electrică pe componentele inversă și homopolară, pe care o consumă, de regulă, consumatorii echilibrați din restul sistemului. Cum, unul dintre consumatorii echilibrați, sau aproape echilibrați prin simetria construcției, este chiar rețeaua de alimentare, absorbția de putere inversă și homopolară are ca efect creșterea consumului tehnologic, respectiv a pierderilor de energie în rețele.

Evaluarea acestui efect conduce la valori importante ale acestor pierderi. De exemplu, la un sistem electroenergetic de dimensiunile celui românesc, pierderile suplimentare sînt de ordinul sutelor de milioane de kilowattore anual, fără luarea în considereare a pierderilor din rețelele proprii interioare ale întreprinderilor industriale.

Problema are deci o mare importanță din punctul de vedere al economiilor de energie, în afara celui privitor la dezagrementele cunoscute în mașinile rotative prin apariția cîmpurilor învîrtitoare inverse etc.

De aceea, analizarea schemelor receptoarelor și consumatorilor trifazați din punctul de vedere al simetriei trifazate este necesară și utilă pentru stabilirea măsurilor de contracarare a efectelor.

1. După cum se știe, în teoria componentelor simetrice, impedanțele din sistemele trifazate se pot descompune în componente simetrice „de calcul" în mod asemănător cu operația efectuată asupra mărimilor armonice (variabile în timp). Din punct de vedere fizic între cele două categorii de mărimi există deosebiri esențiale. Astfel, la mărimile armonice se poate vorbi despre o succesiune în timp a celor trei fazori ai unei secvențe. În cazul impedanțelor, descompunerea în componente simetrice de calcul are o interpretare geometrică, dar poate avea în același timp și o interpretare fizică în sensul că se pot găsi scheme echivalente ale căror impedanțe să fie combinate cu ajutorul mărimilor simetrice.

Orice sistem de impedanțe trifazate se poate descompune geometric și fizic în trei grupe de impedanțe simetrice „de calcul". (Păstrăm a-

ceastă denumire folosită de mult timp în literatura de specialitate, cu toate că ea sugerează o ficțiune de calcul, în realitate fiind vorba de scheme echivalente de substituție. Problema denumirii trebuie revăzută). Prin analogie cu componentele simetrice ale mărimilor armonice și folosind aceleași relații de transformare, se folosesc pentru impedanțe denumirile de impedanțe de calcul homopolare (z_h), directe (z_d) și inverse (z_i). Această descompunere este unică și totdeauna posibilă. De fapt această aserțiune este o extindere a teoremei lui Fortescue [5] la sisteme geometrice cu trei vectori concurenți.

Receptoarele trifazate echilibrate au impedanțele complexe egale în cele trei ramuri, de aceea rezultă că astfel de receptoare cuprind numai impedanțe homopolare, impedanțele directe și inverse trebuind să fie nule.

Apare imediat posibilitatea de a da o nouă definiție receptoarelor trifazate echilibrate, și anume : receptoare echilibrate sînt acele receptoare trifazate la care componentele simetrice de calcul directe și inverse ale impedanțelor sînt nule. Existența a cel puțin uneia dintre aceste componente de calcul (directă sau inversă) caracterizează receptoarele ca fiind dezechilibrate.

2. Ecuația căderilor de tensiune pe un receptor dezechilibrat, cunoscînd componentele simetrice de calcul și componentele simetrice ale curenților, se poate scrie astfel [6] :

$$\begin{vmatrix} \Delta U_h \\ \Delta U_d \\ \Delta U_i \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} z_h & z_i & z_d \\ z_d & z_h & z_i \\ z_i & z_d & z_h \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} I_h \\ I_d \\ I_i \end{vmatrix} \tag{1}$$

De multe ori se pune problema invers, adică se cere determinarea componentelor simetrice ale curenților cînd se cunosc componentele simetrice de calcul ale impedanțelor și componentele simetrice ale tensiunilor aplicate. Se obține :

$$\begin{vmatrix} I_h \\ I_d \\ I_i \end{vmatrix} = \frac{1}{A} \begin{vmatrix} z_h^2 - z_d z_i & z_d^2 - z_h z_i & z_i^2 - z_h z_d \\ z_i^2 - z_h z_d & z_h^2 - z_d z_i & z_d^2 - z_h z_i \\ z_d^2 - z_h z_i & z_i^2 - z_h z_d & z_h^2 - z_d z_i \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} E_h \\ E_d \\ E_i \end{vmatrix} \tag{2}$$

$$A = z_h^3 + z_d^3 + z_i^3 - 3 z_h z_d z_i .$$

Ecuația (2) arată dependența componentelor simetrice ale curenților de componentele tensiunilor aplicate și de componentele de calcul ale impedanțelor. Fiecare componentă simetrică a curentului depinde de toate componentele simetrice ale tensiunilor. De asemenea, ecuația (2) confirmă regula produselor simbolice ale sistemelor simetrice de vectori.

O analiză a ecuației (2) ne poate conduce la următoarele propoziții :

— curenții homopolari se obțin dacă aplicarea tensiunilor se face pe impedanțe de succesiune simetrică omonimă ;

— impedanțele homopolare sînt parcurse de curenți care sînt componente simetrice avînd același nume ca și componentele tensiunilor aplicate.

3. Descompunerea unui sistem de impedanțe trifazate în cele trei sisteme simetrice de vectori este totdeauna posibilă din punct de vedere geometric, iar din punct de vedere fizic se pot găsi în cele mai multe cazuri scheme echivalente realizabile experimental.

Sîntem obișnuiți ca la receptoare, impedanțele să aibă partea reală (rezistența în curent alternativ) mai mare decît zero :

$$\mathrm{Re}(z) = R \geqslant 0.$$

Teoretic, dacă la descompunerea în componente simetrice a unui sistem trifazat de impedanțe se obține $z_h = 0$, $z_d \neq 0$ și $z_i \neq 0$ rezultă că cele trei impedanțe z_R, z_S, z_T reprezintă un sistem de vectori ale căror vîrfuri coincid cu vîrfurile unui triunghi care are centrul de greutate în originea axelor de coordonate. Ca urmare, cel puțin unul din cei trei vectori se găsește în cadranul II sau III. Cu alte cuvinte, cel puțin o impedanță are partea reală negativă. Într-adevăr, deoarece :

$$z_h = z_R + z_S + z_T = 0,$$

rezultă :

$$\mathrm{Re}(z_R) + \mathrm{Re}(z_S) + \mathrm{Re}(z_T) = 0 \tag{3}$$

și deci :

$R_k = \mathrm{Re}(z_k) < 0$ (k fiind R sau S sau T, sau R și S, sau S și T sau T și S).

Sintetizînd considerațiile de mai sus, se pot formula următoarele definiții :

Se numește *receptor extrem dezechilibrat ideal* acel receptor teoretic la care, în schema echivalentă simetrică, este nulă componenta homopolară de calcul, componentele directă și inversă fiind oricum. Astfel de receptoare conțin cel puțin o rezistență negativă pe una din faze.

Pentru a defini receptoarele extrem dezechilibrate reale este necesar să se plece de la faptul că la aceste receptoare *toate* rezistențele în curent alternativ trebuie să fie pozitive. Ca urmare, triunghiul RST trebuie să aibă toate vîrfurile în cadranul I sau IV. Receptorul real cu maximum de dezechilibru ne conduce la o reprezentare în care triunghiul RST, fie se reazemă cu două vîrfuri pe cele două axe de coordonate, fie are un vîrf în originea axelor. Ultimul caz este un caz particular, corespunzător unui sistem trifazat cu un scurtcircuit pe o fază și din această cauză mai puțin interesant pentru regimurile normale. Ca urmare, deducem că triunghiul RST are centrul de greutate într-un punct N diferit de originea axelor de coordonate, că sistemul de impedanțe conține și o componentă

homopolară. Componenta homopolară de calcul reprezintă partea echilibrată a impedanţelor, iar însumarea componentelor directe şi inverse, partea dezechilibrată. Dacă notăm cu N indicele pentru partea dezechilibrată a sistemului de impedanţe, atunci, la receptoarele complet dezechilibrate reale trebuie să existe condiţia :

$$|\mathrm{Re}(z_h)| = |\mathrm{Re}(z_{Nk})|, \tag{4}$$

unde k este indicele fazei care are componenta reală negativă.

Ca urmare , se poate defini : *receptor extrem dezechilibrat real* un receptor la care, în schema echivalentă, modulul părţii reale a componentei homopolare de calcul a impedanţelor este egal cu modulul părţii reale a componentei dezechilibrate de pe faza care are partea reală negativă. Prin opoziţie cu cele de mai sus se numeşte *receptor echilibrat* acel receptor a cărui schemă echivalentă simetrică nu conţine decît componentă homopolară de calcul.

Consideraţiile de mai sus conduc la exprimarea următoarei leme care este implicit demonstrată : *Orice receptor dezechilibrat care poate fi reprezentat printr-o schemă echivalentă trifazată în stea (de impedanţe), se poate descompune în două sisteme de impedanţe, dintre care unul este echivalent cu un receptor echilibrat, iar al doilea este echivalent cu un receptor complet dezechilibrat ideal. Receptorul complet dezechilibrat real este un caz particular al receptoarelor reale dezechilibrate şi se supune regulii generale.*

4. Aplicarea unei tensiuni electromotoare E_d avînd numai componentă simetrică directă pe o impedanţă dezechilibrată, deci toate tipurile de componente simetrice de calcul, conduce la apariţia tuturor componentelor simetrice de curenţi.

$$\begin{vmatrix} I_h \\ I_d \\ I_i \end{vmatrix} = \frac{E_d}{z_h^3 + z_d^3 + z_i^3 - 3z_h z_d z_i} \begin{vmatrix} z_d^2 - z_h z_i \\ z_h^2 - z_d z_i \\ z_i^2 - z_h z_d \end{vmatrix} \tag{5}$$

În mod analog, căderile de tensiune au toate componentele simetrice :

— pe partea echilibrată (z_h) :

$$\begin{vmatrix} \Delta U_h \\ \Delta U_d \\ \Delta U_i \end{vmatrix}_{(z_h)} = \frac{E_d}{z_h^3 + z_d^3 + z_i^3 - 3z_h z_d z_i} \begin{vmatrix} z_h(z_d^2 - z_h z_i) \\ z_h(z_h^2 - z_d z_i) \\ z_h(z_i^2 - z_h z_d) \end{vmatrix} \tag{6}$$

— pe partea dezechilibrată $(z_d + z_i)$:

$$\begin{vmatrix} \Delta U_h \\ \Delta U_d \\ \Delta U_i \end{vmatrix}_{(z_d+z_i)} = \frac{E_d}{z_h^3 + z_d^3 + z_i^3 - 3z_h z_d z_i} \begin{vmatrix} z_h(z_h z_i - z_d^2) \\ z_d^3 + z_i^3 - 2z_h z_d z_i \\ z_h(z_d z_h - z_i^2) \end{vmatrix} \tag{7}$$

Se observă imediat că :

$$\left.\begin{aligned} \Delta U_{h(z_d+z_i)} &= -\Delta U_{h(z_h)} \\ \Delta U_{d(z_d+z_i)} &= E_d - \Delta U_{d(z_h)} \\ \Delta U_{i(z_d+z_i)} &= -\Delta U_{i(z_h)} \end{aligned}\right\} \tag{8}$$

5. Pe de altă parte, examinarea puterilor consumate în receptor pe cele două componente ale sale, conduce la următoarele relaţii :

— pentru partea echilibrată :

$$\left.\begin{aligned} S_h &= 3\Delta U_h I_h^* = 3\frac{z_h(z_d^2 - z_h z_i)}{z_h^3 + z_d^3 + z_i^3 - 3z_h z_d z_i} E_d I_h^* \quad \text{(a)} \\ S_d &= 3\Delta U_d I_d^* = 3\frac{z_h^3 - z_h z_d z_i}{z_h^3 + z_d^3 + z_i^3 - 3z_h z_d z_i} E_d I_d^* \quad \text{(b)} \\ S_i &= 3\Delta U_i I_i^* = 3\frac{z_h(z_i^2 - z_h z_d)}{z_h^3 + z_d^3 + z_i^3 - 3z_h z_d z_i} E_d I_i^* \quad \text{(c)} \end{aligned}\right\} \tag{9}$$

— pentru partea dezechilibrată :

$$\left.\begin{aligned} S_h &= 3\Delta U_h I_h^* = 3\frac{z_h(z_h z_i - z_d^2)}{z_h^3 + z_d^3 + z_i^3 - 3z_h z_d z_i} E_d I_h^* \quad \text{(a)} \\ S_d &= 3\Delta U_d I_d^* = 3\frac{z_d^3 + z_i^3 - 2z_h z_d z_i}{z_h^3 + z_d^3 + z_i^3 - 3z_h z_d z_i} E_d I_d^* \quad \text{(b)} \\ S_i &= 3\Delta U_i I_i^* = 3\frac{z_h(z_d z_h - z_i^2)}{z_h^3 + z_d^3 + z_i^3 - 3z_h z_d z_i} E_d I_i^* \quad \text{(c)} \end{aligned}\right\} \tag{10}$$

Se observă imediat că :

$$\left.\begin{aligned} S_{h(z_d+z_i)} &= -S_{h(z_h)} \quad \text{(a)} \\ S_{d(z_d+z_i)} &= 3E_d I_d^* - S_{d(z_h)} \quad \text{(b)} \\ S_{i(z_d+z_i)} &= -S_{i(z_h)} \quad \text{(c)} \end{aligned}\right\} \tag{11}$$

Puterea totală absorbită de întreg receptorul exemplificat este evident : $S_\Sigma = S_{\Sigma E} + S_{\Sigma N}$.

Folosind relaţiile (11) rezultă :

$$S_\Sigma = 3E_d I_d^*.$$

Rezultatele de mai sus ne sugerează o „circulaţie" de putere între cele două părţi ale unui receptor. Astfel :

— partea echilibrată a receptorului consumă atît putere directă $S_{d(z_h)}$, cît şi puterile core-

punzătoare componentelor inverse și homopolare $S_{h(z_h)}$ și $S_{i(z_h)}$. Cum prin ipoteză, receptorul a fost alimentat de un generator complet simetric, de putere practic infinită, care poate furniza putere numai prin componenta directă, puterile homopolară și inversă sînt primite de partea echilibrată numai prin intermediul părții dezechilibrate a receptorului;

—partea dezechilibrată a receptorului se comportă ca un convertizor de putere simetrică;

—relațiile (9*a*), (9*c*), (10*a*) și (10*c*) scot în evidență faptul că, în circuitele trifazate alimentate de tensiuni electromotoare simetrice directe, părțile echilibrate (impedanțele homopolare) au o importanță determinantă pentru existența circulațiilor de putere homopolară și inversă, bineînțeles cu condiția ca să existe și consumatori dezechilibrați, care se comportă ca generatoare de astfel de puteri. Mărimea acestor puteri depinde de caracteristicile părților echilibrate, care se comportă ca receptoare de puteri homopolare și inverse.

6. În general se poate admite că rețelele electrice sînt alimentate de generatoare cu tensiuni electromotoare simetrice (cu componentă directă). În acest caz toate nesimetriile de tensiune care apar în astfel de rețea sînt datorate receptoarelor dezechilibrate.

Aplicarea unor tensiuni nesimetrice (avînd deci componente homopolare și inverse) pe un receptor echilibrat (avînd numai impedanțe homopolare), conduce la consumul unor puteri care pot fi evidențiate prin expresiile:

$$S_h = 3\Delta U_h I_h^* = 3\frac{|\Delta U_h|^2}{z_h^*} = 3z_h\frac{|\Delta U_h|^2}{|z_h|^2}$$

$$S_d = 3\Delta U_d I_d^* = 3\frac{|\Delta U_d|^2}{z_h^*} = 3z_h\frac{|\Delta U_d|^2}{|z_h|^2} \qquad (12)$$

$$S_i = 3\Delta U_i I_i^* = 3\frac{|\Delta U_i|^2}{z_h^*} = 3z_h\frac{|\Delta U_i|^2}{|z_h|^2}$$

$$S = \frac{3z_h}{|z_h|^2}(|\Delta U_h|^2 + |\Delta U_d|^2 + |\Delta U_i|^2) \qquad (13)$$

Deoarece s-a considerat de la început că partea reală a impedanțelor este nonnegativă, rezultă că toate cele trei componente ale puterilor active sînt primite de receptorul echilibrat. Receptorul echilibrat nu poate converti puteri ale componentelor simetrice.

7. Cele de mai sus demonstrează faptul că impedanțele schemelor echivalente ale receptoarelor caracterizează în principal starea de dezechilibru a unui consumator. Examinarea puterilor consumate în impedanțe în funcție de natura acestora, aduce elemente care dau posibilitatea cuantificării acestor stări.

În cele ce urmează se va considera un receptor dezechilibrat real al cărui sistem de impedanțe conține și o parte echilibrată reprezentată prin componenta homopolară (z_h) și o parte dezechilibrată reprezentată prin cele două componente de calcul, componenta directă (z_d) și componenta inversă (z_i). În acest fel, receptorul poate fi caracterizat prin doi coeficienți, pe care îi vom denumi coeficienți de dezechilibru:

— coeficientul de dezechilibru al impedanței de componentă directă de calcul (k_d), definit prin expresia:

$$k_d = \frac{z_d}{z_h}; \qquad (14)$$

— coeficientul de dezechilibru al impedanței de componentă inversă de calcul (k_i), definit prin expresia:

$$k_i = \frac{z_i}{z_h}. \qquad (15)$$

Desigur, cei doi coeficienți sînt numere complexe și nu sînt ușor de manipulat, totuși ei caracterizează foarte bine caracterul receptorului și după cum se va vedea, influențează determinant circulația puterilor în circuite.

În tabelul 1 se prezintă repartiția căderilor de tensiune și a puterilor pe cele două părți ale impedanțelor (partea echilibrată și partea dezechilibrată).

Din tabel rezultă următoarele:

— căderile de tensiune pe componentele homopolare și pe cele inverse sînt *totdeauna* egale și de sens contrar;

— puterile corespunzătoare componentelor homopolare și celor inverse ale celor două părți ale impedanțelor sînt *totdeauna* egale și de sens contrar. Deoarece prin definiție S_E are în toate cazurile valori nenegative pentru partea reală (fiind o putere absorbită de o impedanță reală echilibrată), rezultă că partea reală a puterilor de pe partea dezechilibrată a impedanțelor corespunzătoare curenților și tensiunilor homopolare și inverse este negativă, cu alte cuvinte puterile active ale componentelor părții dezechilibrate sînt generate de aceasta către partea echilibrată;

— puterea activă corespunzătoare componentei directe de pe partea echilibrată este *totdeauna* pozitivă, cu alte cuvinte, în conformitate cu convenția semnelor, este totdeauna absorbită de partea echilibrată; partea corespunzătoare sistemului dezechilibrat poate fi pozitivă sau negativă în funcție de semnele și forma coeficienților k_d și k_i.

În tabelul 2 sînt prezentate puterile, în unități relative, considerîndu-se ca mărime de bază puterea componentelor directe, consumată în partea echilibrată a sistemului de impedanțe. Se observă că singura mărime care la partea reală poate lua semnul plus sau minus

Tabelul 1

Tensiuni și puteri pe un receptor oarecare dezechilibrat

	Pe partea echilibrată	Pe partea dezechilibrată
ΔU_h	$E_d \dfrac{(k_d^2 - k_t)}{1+k_d^3+k_t^3-3k_dk_t}$	$E_d \dfrac{(k_t - k_d^2)}{1+k_d^3+k_t^3-3k_dk_t}$
ΔU_d	$E_d \dfrac{(1 - k_dk_t)}{1 + k_d^3 + k_t^3 - 3k_dk_t}$	$E_d \dfrac{k_d^3 + k_t^3 - 2k_dk_t}{1 + k_d^3 + k_t^3 - 3k_dk_t}$
ΔU_t	$E_d \dfrac{(k_t^2 - k_d)}{1 + k_d^3 + k_t^3 - 3k_dk_t}$	$E_d \dfrac{(k_d - k_t^2)}{1 + k_d^3 + k_t^3 - 3k_dk_t}$
S_h	$S_E \dfrac{\lvert k_d^2 - k_t\rvert^2}{\lvert 1+k_d^3+k_t^3-3k_dk_t\rvert^2}$	$-S_E \dfrac{\lvert k_d^2 - k_t\rvert^2}{\lvert 1+k_d^3+k_t^3-3k_dk_t\rvert^2}$
S_d	$S_E \dfrac{\lvert 1 - k_dk_t\rvert^2}{\lvert 1+ k_d^3+k_t^3-3k_dk_t\rvert^2}$	$S_E \dfrac{(k_d^3+k_t^3-2k_dk_t)(1-k_dk_t)^*}{\lvert 1 + k_d^3 + k_t^3 - 3k_dk_t\rvert^2}$
S_t	$S_E \dfrac{\lvert k_t^2 - k_d\rvert^2}{\lvert 1+k_d^3+k_t^3-3k_dk_t\rvert^2}$	$-S_E \dfrac{\lvert k_t^2 - k_d\rvert^2}{\lvert 1+k_d^3+k_t^3-3k_dk_t\rvert^2}$

S-a notat:

S_E — puterea absorbită de un receptor echivalent simetric cu impedanța z_h pe fiecare fază și tensiunea E_d aplicată, avînd numai componente simetrice directe:

$$S_E = 3E_d I_{dS}^* = 3E_d \frac{E_d^*}{z_h^*} = 3z_h \frac{|E_d|^2}{|z_h|^2}$$

$$k_d = \frac{z_d}{z_h}; \quad k_t = \frac{z_t}{z_h}$$

este S_{dN}/S_{dE}. Deci, partea nesimetrică a receptorului va primi sau va debita în rețea putere corespunzătoare componentei directe în funcție de valoarea modulelor și a argumentelor de calcul al impedanțelor.

În cele de mai sus s-a considerat că receptorul dezechilibrat real a fost alimentat de un generator simetric de putere practic infinită (cu impedanțele tinzînd către zero). În realitate, chiar din punct de vedere teoretic, receptoarele sînt alimentate prin rețele, care pot fi considerate ca fiind fizic simetrice și deci ca un fel de receptoare echilibrate. Ca urmare, impedanța homopolară z luată în calcul pentru o schemă simplă trebuie împărțită în două, o parte pentru rețea și o parte pentru receptor:

$$z_h = z_{h(rețea)} + z_{h(receptor)}.$$

Caracterizarea dezechilibrului unui receptor se poate face în bune condiții prin coeficienții de dezechilibru în care mărimea de la numitor va fi $z_{h(receptor)}$, dar urmărirea și cuantificarea efectelor dezechilibrului unui consumator

Tabelul 2

Expresiile puterilor absorbite (sau generate) de receptorul oarecare dezechilibrat

	I. Pe partea echilibrată
S_{hE}/S_{dE}	$\dfrac{\lvert k_d^2 - k_t\rvert^2}{\lvert 1 - k_dk_t\rvert^2}$
S_{tE}/S_{dE}	$\dfrac{\lvert k_t^2 - k_d\rvert^2}{\lvert 1 - k_dk_t\rvert^2}$

	II. Pe partea dezechilibrată
S_{hN}/S_{dE}	$\dfrac{-\lvert k_d^2 - k_t\rvert^2}{\lvert 1 - k_dk_t\rvert^2}$
S_{dN}/S_{dE}	$\dfrac{k_d^3 + k_t^3 - 2k_dk_t}{1 - k_dk_t}$
S_{tN}/S_{dE}	$\dfrac{-\lvert k_t^2 - k_d\rvert^2}{\lvert 1 - k_dk_t\rvert^2}$

Notă: S-a notat cu indicele E mărimile referitoare la partea echilibrată și cu indicele N cele referitoare la partea dezechilibrată;

S_{dE} — puterea de secvență directă absorbită de partea echilibrată a sistemului de impedanțe:

$$S_{dE} = S_E \frac{|1 - k_dk_t|^2}{|1 + k_d^3 + k_t^3 - 3k_dk_t|^2};$$

S_{dN} — putere de secvență directă absorbită de partea dezechilibrată a sistemului de impedanțe.

depinde și de impedanța homopolară echivalentă a rețelei de alimentare ($z_{h(rețea)}$). Influența raportului $z_{h(rețea)}/z_{h(receptor)}$ asupra consumului tehnologic suplimentar datorat dezechilibrului nu a făcut obiectul lucrării de față, dar este un subiect asupra căruia trebuie atrasă atenția specialiștilor.

8. Folosirea coeficienților de dezechilibru este incomodă, dar necesară pentru analiza receptoarelor. În practică se pot distinge cîteva cazuri particulare, care pot avea avantajul unor simplificări de calcule. Astfel, un caz particular care prezintă interes practic pentru calcule este acela în care partea imaginară a coeficienților de dezechilibru este nulă. Deci coeficienții de dezechilibru sînt numere reale. În acest caz componentele simetrice de calcul ale impedanțelor pot fi exprimate astfel:

$$\begin{aligned} z_h &= z\lfloor\underline{\alpha} \\ z_d &= k_d z\lfloor\underline{\alpha} \\ z_t &= k_t z\lfloor\underline{\alpha} \end{aligned} \qquad (16)$$

în care z este modulul componentei homopolare, iar α argumentul fiecărei impedanțe simetrice de calcul.

Impedanţele de fază sînt în acest caz :

$$z_R = (1 + k_d + k_i)z\,|\underline{\alpha}$$

$$z_S = \left(1 - \frac{k_d + k_i}{2} + j\sqrt{3}\,\frac{k_i - k_d}{2}\right)z\,|\underline{\alpha} \qquad (17)$$

$$z_T = \left(1 - \frac{k_d + k_i}{2} - j\sqrt{3}\,\frac{k_i - k_d}{2}\right)z\,|\underline{\alpha}$$

Relaţiile 17 arată că impedanţele de pe fazele S şi T au modulele egale şi sînt simetrice faţă de axa $1\,|\underline{\alpha}$. În cazul cînd $\alpha = 0$ impedanţele z_S şi z_T sînt complex conjugate.

Pentru acest caz, o reprezentare în plan a punctelor care reprezintă puterile S_{dN}/S_{dE} (în unităţi relative), plan care are pe axele de coordonate valorile coeficienţilor k_d şi k_i, permite delimitarea zonelor în care aceste puncte iau valori pozitive sau valori negative. Curbele graniţă ale acestor zone sînt cele pentru care fie puterile relative sînt egale cu zero, fie sînt locul geometric al punctelor de putere infinită. Curbele corespunzătoare valorilor nule ale puterilor componente directe de pe partea neechilibrată se obţin cu ajutorul ecuaţiei :

$$k_d^3 + k_i^3 - 2\,k_d k_i = 0. \qquad (18)$$

Pentru punctele de putere infinită care corespund unor scurtcircuite avem ecuaţia :

$$1 - k_d k_i = 0. \qquad (19)$$

Ecuaţia (18) reprezintă foliul lui Descartes, iar ecuaţia (19), o hiperbolă echilateră. Reprezentarea grafică este dată în figura 1. Cele două grupe de curbe se intersectează în punctul $k_d = 1$, $k_i = 1$. Acest punct este singular ; valoarea puterii în acest punct este : $S_{dN}/S_{dE} = -1$.

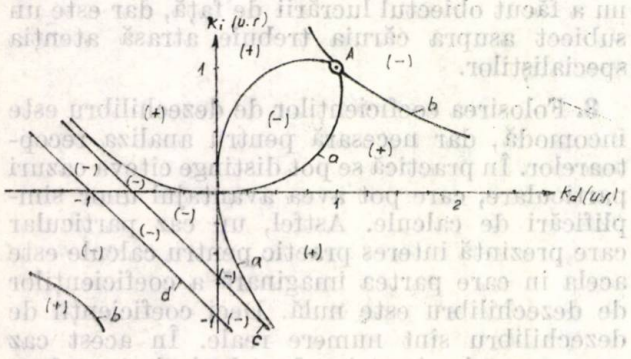


Fig. 1. Reprezentarea planului puterilor relative S_{dN}/S_{dE} în funcţie de valorile mărimilor k_d şi k_i. Reprezentarea este făcută pentru cazul particular cînd coeficienţii de dezechilibru au valori reale : a — curba pentru $S_{dN}/S_{dE} = 0$ (foliul lui Descartes); b — curba pentru care S_{dN}/S_{dE} tinde către infinit (hiperbolă echilateră); c — dreapta asimptotă foliului lui Descartes: $k_d + k_i + \frac{2}{3} = 0$; d — dreapta scurtcircuitelor fazei R: $k_d + k_i + 1 = 0$; A — punct singular; corespunde valorii $S_{dN}/S_{dE} = -1$ (scurt circuite pe fazele S şi T).

Pe figură sînt indicate, pe zone, semnele puterilor relative.

Explorarea spaţiului se poate face mai biee cu ajutorul unor drepte, care dau direct variaţia puterilor. De exemplu explorarea cu ajutorul bisectoarei cadranelor I şi III conduce la curba reprezentată în figura 2, corespunzătoare funcţiei :

$$\frac{S_{dN}}{S_{dE}} = -\frac{2k_d^2}{1 + k_d}. \qquad (20)$$

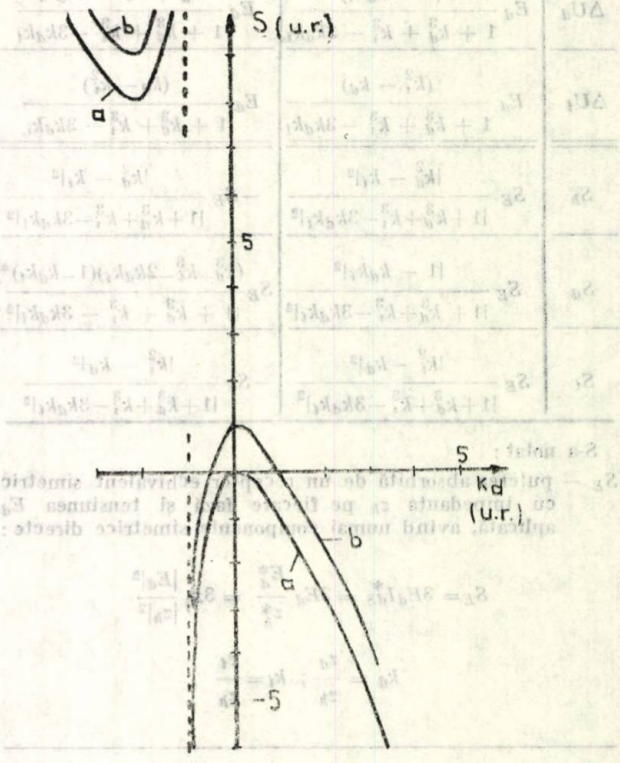


Fig. 2. Reprezentarea variaţiei puterii relative în funcţie de coeficienţii de dezechilibru, de-a lungul bisectoarei cadranelor I şi III; a — curba S_{dN}/S_{dE}; b — curba S_d/S_{dE}.

Se observă că partea dezechilibrată a receptorului nu devine receptor propriu-zis decît pentru valori $z_d = z_i$ mai mici decît valoarea -1. Pentru valori mai mari decît -1, partea dezechilibrată este generatoare (pentru toate componentele). Pentru valori între -1 şi $-0{,}5$, precum şi pentru valori mai mari decît 1, întreg sistemul de impedanţe (partea dezechilibrată împreună cu partea echilibrată) devine un generator care debitează în restul reţelei. Într-adevăr :

$$S_{dN} < -S_{dE}$$

$$\text{şi deci } S_d = S_{dN} + S_{dE} < 0. \qquad (21)$$

O altă explorare se poate face cu ajutorul bisectoarei cadranelor II şi IV. Rezultatul este prezentat grafic în figura 3. În acest caz siste-

mul de impedanţe reprezintă un sistem receptor pentru toate valorile coeficienţilor de dezechilibru. Curba este simetrică faţă de axa ordonatelor. Acesta este cazul receptorului care joacă rolul de convertizor de componente simetrice.

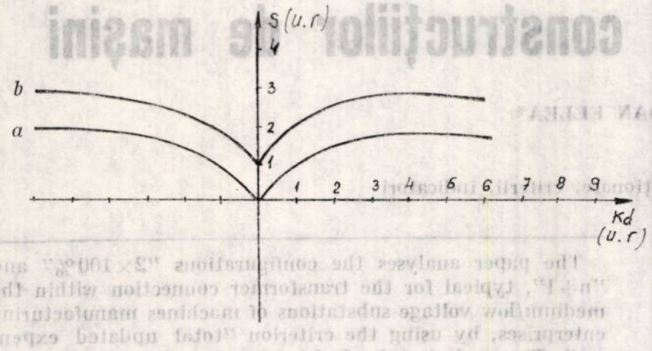


Fig. 3. Reprezentarea variaţiei puterii relative în funcţie de coeficienţii de dezechilibru, de-a lungul bisectoarei cadranelor II şi IV: a — curba S_{dN}/S_{dE}; b — curba S_d/S_{dE}.

Concluzii

Principalele rezultate ale consideraţiilor de mai sus, pot fi sintetizate precum urmează:

1. Analizarea şi examinarea „circulaţiei" puterilor şi energiilor componentelor simetrice are o deosebită importanţă economică, în special pentru detectarea unor consumuri parazite de energie la consumatori sau în reţelele simetrice şi echilibrate.

2. Caracterizarea intrinsecă a consumatorilor şi a receptoarelor dezechilibrate se poate face mai bine cu ajutorul componentelor simetrice de calcul ale schemelor echivalente de impedanţe.

3. Componenta homopolară de calcul a sistemului de impedanţe caracterizează partea echilibrată a receptorului, iar ansamblul de componente de calcul directe şi inverse, caracterizează partea dezechilibrată.

4. Partea echilibrată a unui receptor sau, în general, un consumator echilibrat este totdeauna receptoare de putere, respectiv energie activă, indiferent de simetria tensiunilor aplicate acestuia.

5. Un sistem de impedanţe extrem dezechilibrate, ideal ($z_h = 0$) este totdeauna generator de putere, respectiv energie activă în componente simetrice homopolare şi inverse; puterile şi energiile active în componente simetrice directe pot avea semnul plus sau minus, în funcţie de valorile de calcul ale componentelor simetrice ale impedanţelor.

6. O caracterizare obiectivă a unui receptor sau a unui consumator dezechilibrat, se poate face pe baza unei scheme echivalente în stea, deducînd componentele simetrice de calcul ale impedanţelor de pe faze. Coeficienţii de dezechilibru definiţi ca mai sus pot fi folosiţi cu succes pentru această caracterizare.

7. Efectele dezechilibrului sistemelor de impedanţe pot fi cuantificate prin măsurarea puterilor, respectiv energiilor active corespunzătoare componentelor simetrice homopolare şi inverse. Totdeauna consumatorul „vinovat" de dezechilibru va genera putere şi energie homopolară şi inversă, iar consumatorul perfect echilibrat va recepta astfel de puteri şi energii. Simpla existenţă a unor componente simetrice ale curenţilor (componentele homopolare sau inverse) în circuitele trifazate ale unui receptor, nu caracterizează receptorul ca atare, deoarece aceste valori depind de întregul ansamblu al reţelei, de toţi consumatorii conectaţi la reţea.

* * *

Constatarea dezechilibrului prin evaluarea impedanţelor schemelor echivalente foloseşte la analiza şi stabilirea unor condiţii tehnice pentru fabricant; măsurarea efectelor este foarte importantă pentru descurajarea consumatorilor dezechilibraţi care provoacă dezagremente celorlalţi consumatori şi reţelelor de alimentare; problema care rămîne în continuare de analizat şi rezolvat este aceea a măsurilor necesare şi posibile pentru reducerea sau anularea dezechilibrului unui receptor sau unui consumator.

Bibliografie

[1] Antoniu, I. S. *Chestiuni speciale de electrotehnică.* Bucureşti, Editura Academiei R.P.R., 1956.

[2] Dimo, P. şi alţii. *Calculul şi proiectarea sistemelor electroenergetice.* Bucureşti, Editura Tehnică, 1971.

[3] Ţugulea, A. *Consideraţii privind efectele energetice în regimurile armonice nesimetrice ale reţelelor trifazate.* În: Energetica, 34, 1986, nr. 3, p. 121—129.

[4] Ţugulea, A., Golovanov, C. *Efectele energetice ale regimurilor nesimetrice şi deformante ale sistemelor electroenergetice. Posibilităţi de măsurare.* În: ENERG, vol. III, Bucureşti, Ed. Tehnică, 1987.

[5] Timotin, Al. şi alţii. *Lecţii de bazele electrotehnicii.* vol. II Bucureşti, Ed. Didactică şi Pedagogică, 1964.

[6] Clarke, E. *Analiza circuitelor sistemelor electroenergetice (traducere selectivă).* Bucureşti, Ed. Tehnică, 1973.

(Primit la 16 martie 1988, acceptat la 8 aprilie 1988)

Considerații privind stabilirea stărilor optime de funcționare ale stațiilor de transformare pentru alimentarea cu energie electrică a consumatorilor industriali din domeniul construcțiilor de mașini

Dr. ing. IOAN FELEA*

Descriptori : optimizare, stație de transformare, stări de funcționare, criterii, indicatori

În cadrul lucrării se analizează, prin aplicarea criteriului „cheltuieli totale actualizate", configurațiile „2×100%" și „n+1", tipice pentru conexiunea transformatoarelor din stațiile de MT/JT ale întreprinderilor constructoare de mașini. Analiza urmărește stabilirea stărilor optime ale configurațiilor respective sub aspectul cheltuielilor totale actualizate. Pentru configurația „2×100%" se deduc două relații de calcul al puterii absorbite la care se justifică comutarea între starea cu rezervă pasivă și starea cu rezervă activă, avîndu-se în vedere următoarele elemente de calcul: valoarea consumului propriu tehnologic, daunele și cheltuielile suplimentare de investiții și exploatare. Stările configurației de tipul „n+1" (n>1) se referă la numărul și puterea transformatoarelor pentru care economiile de energie electrică datorate diminuării consumului propriu tehnologic depășesc cheltuielile suplimentare de investiții și exploatare implicate de manevrele intensive ale aparatajului de comutație. Considerațiile teoretice dezvoltate în lucrare sînt aplicate la analiza stației de transformare aparținînd unei întreprinderi de profil, ceea ce permite evidențierea unor concluzii cu caracter general.

The paper analyses the configurations "2×100%" and "n+1", typical for the transformer connection within the medium/low voltage substations of machines manufacturing enterprises, by using the criterion "total updated expenses". The analysis intends to determine the optimal states of the configuration from the point of view of total updated expenses. For the configuration "2×100%", two relations are inferred, for the calculation of the consumed power for which the switching between the passive reserve state and the active reserve state is justified. The following calculation elements are used: the technological eigenconsumption value, the damages and the supplementary investments and operation costs. The "n+1" (n>1) type configuration states refer to the number and power of the transformers for which the energy savings due to the technological eigenconsumption decrease surpass the supplementary investment and operation costs caused by the intensive operation of the switching equipment. The theoretical considerations presented in this paper were applied to the analysis of a transformer substation of such an enterprise. General conclusions are drawn finally.

Preocupările privind optimizarea puterii nominale a transformatoarelor [1, 2, 8, 9, 14] și respectiv pentru optimizarea configurației stațiilor de transformare de la consumatorii industriali, după puterea absorbită [1, 2, 5, 6, 13, 14], sînt justificate prin importantele economii de energie electrică care se pot obține. Rezultate satisfăcătoare oferă, în acest sens, și aplicarea criteriului „pierderi minime de putere și energie" [2, 5, 8, 14], dar pentru obținerea unor valori mai exacte se aplică [10, 11, 13] criteriul „cheltuieli totale actualizate" (CTA).

În cadrul prezentei lucrări se analizează, sub aspectul menționat, configurațiile „2 × 100%" și „$n + 1$", tipice pentru stațiile de MT/JT din cadrul întreprinderilor constructoare de mașini.

1. Analiza configurației 2 × 100 %

Schema frecvent aplicată se reprezintă în figura 1. Pentru efectuarea analizei se admit ipotezele : puterea nominală a transformatoarelor este cea optimă, caracteristicile aparatajului de același tip sînt identice și puterea momentană absorbită (S) este variabilă (pe parcursul unei zile lucrătoare). Notațiile introduse în figura 1 au semnificația : C_1, C_2 — celulele de MT, T_1, T_2 — transformatoare de MT/JT, iar C'_1, C'_2 — celulele de JT. Aparatajul de comutație poate fi prevăzut cu sistem AAR.

Se notează cu :

1 — starea cu o singură cale de alimentare în funcțiune (cu rezervă pasivă) ;

2 — starea cu două căi de alimentare în funcțiune (rezervă activă).

În continuare se dau relațiile de calcul pentru puterea absorbită la care se impune comutarea între cele două stări, funcție de criteriul de optimizare aplicat și factorii de influență considerați.

a) Aplicarea criteriului „pierderi minime de putere"

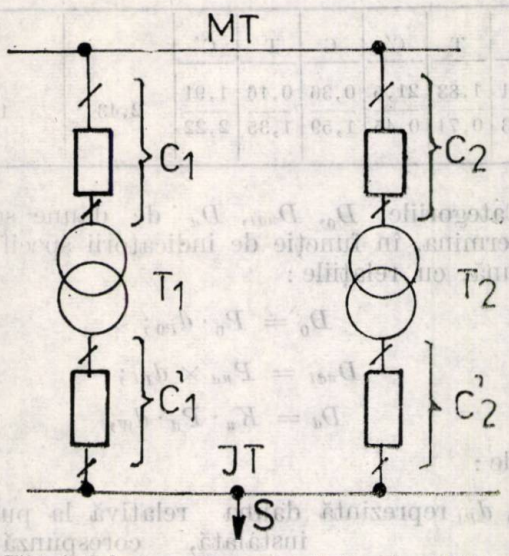
Dacă se notează cu $\Delta P_{12} = \Delta P_1 - \Delta P_2$ diferența pierderilor totale de putere în transformatoare, cu referire la cele două stări, rezultă [2, 6, 10] :

* Dr. ing. Ioan Felea — Institutul de Subingineri Oradea

— neglijînd pierderile de putere reactivă:

$$\Delta P_{12} = \frac{\Delta P_W}{2}\left(\frac{S}{S_n}\right)^2 - \Delta P_{Fe};$$

$$S_e = S_n\sqrt{\frac{2\cdot\Delta P_{Fe}}{\Delta P_W}}; \qquad (1)$$



Fiig. 1. Schema configurației de tip „2 × 100%".

— considerînd pierderile de putere reactivă:

$$\Delta P_{12} = \frac{1}{2}\left(\Delta P_W + \lambda\frac{U_{SC}}{100}S_n\right)\left(\frac{S}{S_n}\right)^2 - \left(\Delta P_{Fe} + \lambda\frac{I_0}{100}S_n\right); \qquad (2)$$

$$S_{e\lambda} = S_n\sqrt{\frac{2\left(\Delta P_{Fe} + \lambda\frac{I_0}{100}S_n\right)}{\Delta P_W + \lambda\frac{U_{SC}}{100}S_n}}$$

unde:

ΔP_W, ΔP_{Fe} reprezintă pierderile nominale de putere în înfășurări și circuitul magnetic al transformatorului [kW];

S_n, S_e, $S_{e\lambda}$ — puterea nominală a unui transformator (S_n) și puterile absorbite la care se impune comutarea între cele două stări (fig. 2) [kVA];

I_0, U_{SC} — curentul de mers în gol și tensiunea de scurtcircuit (valori nominale) ale transformatoarelor [%];

λ — echivalentul energetic al puterii reactive [kW/kVA].

b) Aplicarea criteriului CTA cu considerarea factorilor: consum propriu tehnologic (CPT) și nivel de siguranță (NS)

Expresia variației CTA între cele două stări este [6, 10]:

$$CTA_{12} = CTA_1 - CTA_2 = \sum_{t=0}^{T'}(\Delta C^E_{12t} + \Delta D_{12t})(1+a)^{-t}, \qquad (3)$$

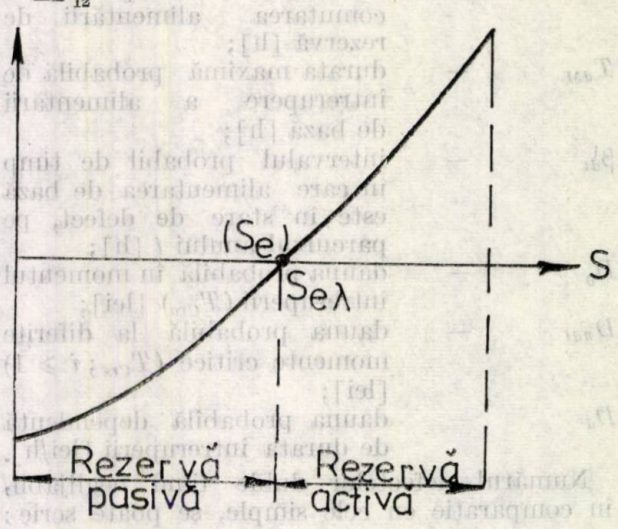


Fig. 2. Variația pierderilor de putere funcție de puterea absorbită.

în care:

t, T' reprezintă anul curent și perioada de studiu;

a — rata de actualizare.

Variația pierderilor de energie electrică se determină cu relația:

$$\Delta C^E_{12t} = C^E_{1t} - C^E_{2t} = \Delta P_{12}\cdot\overline{K}_{Et}\cdot\tau, \qquad (4)$$

unde:

$\overline{K}_{Et}$ este prețul de cost mediu al energiei electrice în anul t [lei/kWh];

τ — durata de funcționare a instalației, în configurația dată pe parcursul anului t [h].

Pentru evaluarea daunei suplimentare în starea 1 față de starea 2, în anul t, la consumatorii analizați, propunem aplicarea expresiei:

$$\Delta D_{12t} = D_{1t} - D_{2t} = \Delta n^{12}_{Ti}\cdot D_0 + \sum_{i\in t;\,T_{cri}<T_{CR}}^{T_{di}\geqslant T_{dm}}\Delta n^{12}_{di}\cdot D_{ndi} + \beta_{dt}\cdot D_d \qquad (5)$$

$$\beta_{dt} = \begin{cases}\Delta n^{12}_{Ti}\cdot T_{CR}, & \text{pentru } T_{CR}\leqslant T_{dM}\\ \beta^1_{dt}, & \text{pentru } T_{CR} > T_{dM}\end{cases} \qquad (6)$$

unde :

Δn_{Ti}^{12} reprezintă creşterea probabilă a numărului total de întreruperi ale barei de JT, în starea 1 faţă de starea 2, pe parcursul anului t;

Δn_{di}^{12} — numărul probabil de întreruperi cu o anumită durată (T_{di}), cel puţin egală cu valoarea minimă semnificativă (T_{dm}), în anul t, pentru starea 1 faţă de starea 2;

T_{CR} — intervalul de timp pentru comutarea alimentării de rezervă [h];

T_{dM} — durata maximă probabilă de întrerupere a alimentării de bază [h];

β_{dt}^{1} — intervalul probabil de timp în care alimentarea de bază este în stare de defect, pe parcursul anului t [h];

D_0 — dauna probabilă în momentul întreruperii (T_{Cr0}) [lei];

D_{ndi} — dauna probabilă la diferite momente critice (T_{Cri}; $i \geqslant 1$) [lei];

D_d — dauna probabilă dependentă de durata întreruperii [lei/h].

Numărul defectelor duble fiind neglijabil, în comparaţie cu cele simple, se poate scrie :

$$\Delta n_{Tt}^{12} = n_{Tt}^{1}; \quad \Delta n_{di}^{12} = n_{di}^{1}; \quad T_{di}^{12} = T_{di}^{1} = T_{di}, \tag{7}$$

unde :

T_{di}^{12} este durata întreruperii în starea 1 faţă de starea 2;

n_{Tt}^{1}, n_{di}^{1}, T_{di}^{1} — au aceeaşi semnificaţie cu indicatorii $n\Delta_{Tt}^{12}$, $n\Delta_{di}^{12}$ şi T_{di}^{12}, cu referire doar la starea 1.

Indicatorii menţionaţi se determină, pentru un element oarecare (e_j), cu relaţiile [6, 11] :

$$n_{dj} = \frac{\lambda_j \cdot \mu_j}{\lambda_j + \mu_j} T_A; \quad T_{dj} = \frac{1}{\mu_j}, \tag{8}$$

unde :

λ_j, μ_j sînt intensităţile de avarie şi reparare [h^{-1}];

T_A — perioada de analiză [h].

Pentru consumatorii analizaţi, faţă de momentul întreruperii ($T_{Cr0} = 8{,}33 \times 10^{-4}$ h = = 3 s), momentul critic următor este $T_{Cr1} =$ = 0,05 h [6, 7], ceea ce justifică adoptarea valorii $T_{dm} = 0{,}05$ h.

După evaluarea dubletelor $(n_{dj}, T_{dj})_{j=C,T,C'}$, se determină indicatorii :

$$n_{Tt}^{1} = n_{dc} + n_{dT} + n_{dc'}; \quad \beta_{dt}^{1} = n_{dc} \cdot T_{dc} + n_{dT} \cdot T_{dT} + n_{dc'} \cdot T_{dc'}. \tag{9}$$

Prin urmărirea în exploatare a echipamentului de alimentare cu energie electrică, aferent întreprinderilor de profil, s-au determinat indicatorii λ_j şi μ_j [6]. Indicatorii calculaţi pe baza datelor statistice se dau în tabelul 1.

Tabelul 1

Indicatori de siguranţă

$\lambda \cdot 10^5$ [h^{-1}] / μ [h^{-1}]			n_{di}^{1} [intr./an] / T_{di} [h/an]			n_{Tt}^{1} [intr./an]	β_{dt}^{1} [h/an]
C	T	C'	C	T	C'		
4,11 / 0,63	1,83 / 0,74	21,5 / 0,45	0,36 / 1,59	0,16 / 1,35	1,91 / 2,22	2,43	1,79

Categoriile D_0, D_{ndi}, D_d de daune se vor determina, în funcţie de indicatorii specifici de daună, cu relaţiile :

$$D_0 = P_0 \cdot d_{P0}; \quad D_{ndi} = P_{nd} \times d_{Pi}; \quad D_d = K_u \cdot P_d \cdot d_W, \tag{10}$$

unde :

d_{P0}, d_{Pi} reprezintă dauna relativă la puterea instalată, corespunzătoare grupelor de receptoare la care există $T_{cr0}(d_{P0})$ şi respectiv $T_{cri}(d_{Pi}$; $i \geqslant 1)$ [lei/kW];

d_W — dauna relativă la energia nelivrată [lei/kWh];

P_0, P_{nd}, P_d — puterile instalate în grupele de receptoare pentru care sînt prezente categoriile D_0, D_{ndi}, D_d ale daunei [kW];

K_u — coeficientul de utilizare al puterii instalate la grupa respectivă de receptoare.

Avînd în vedere specificul consumatorilor analizaţi, este justificată [6, 7, 12] introducerea în calculele privind optimizarea nivelului de siguranţă în alimentarea cu energie electrică doar a următoarelor componente ale daunei :

D_1 — daună provocată de consumul suplimentar de energie la întreruperea alimentării cu energie electrică (în procesele de oprire, repornire, remediere a utilajelor, înglobată în piesa rebutată etc.);

D_2 — daună provocată de consumul suplimentar de materii prime şi auxiliare la întreruperea alimentării cu energie electrică;

D_4 — daună reprezentînd salariile directe retribuite pentru remedierea consecinţelor întreruperii alimentării cu energie electrică (considerată numai în cazul sistemelor de retribuire „în regie" şi dacă producţia se recuperează prin „lucru suplimentar").

Indicatorii specifici (d_{P0}, d_{Pi}, d_W) corespunzători celor trei componente ale daunei (D_1, D_2, D_4) vor fi afectaţi de aceeaşi indici (d_{1P0}, d_{1Pi}, d_{1W} . . .).

Din analiza reacției receptoarelor la întreruperi ale alimentării cu energie electrică, rezultă componente diferite pe sectoare tehnologice, fapt pentru care indicatorii specifici s-au determinat pentru sectoarele tehnologice tipice întreprinderilor constructoare de mașini: turnare (T), forjare (F), prelucrări mecanice prin așchiere (P), tratament (TR) și galvanizare (G). Valorile indicatorilor astfel determinați se prezintă în tabelul 2. La calculul indicatorilor s-au avut în vedere prețurile de cost ale energiei, materialelor și forței de muncă la nivelul anului 1987. Pentru o analiză cît mai corectă, în anul t, se impune recalcularea indicatorilor respectivi astfel:

$$d_{1t} = \frac{\overline{K}_{Et}}{\overline{K}_{E87}} \cdot d_{187}\,;\; d_{2t} = \frac{\overline{K}_{Mt}}{\overline{K}_{M87}} d_{287}\,;$$

$$d_{4t} = \frac{\overline{K}_{mt}}{\overline{K}_{m87}} d_{487}, \qquad (11)$$

unde:

$\overline{K}_{Et}$, $\overline{K}_{Mt}$, $\overline{K}_{mt}$, $\overline{K}_{E87}$, $\overline{K}_{M87}$, K_{m87} reprezintă prețul de cost mediu al energiei ($\overline{K}_{Et}$, $\overline{K}_{M87}$), materialelor ($\overline{K}_{Mt}$, $\overline{K}_{M87}$) și forței de muncă ($\overline{K}_{mt}$, $\overline{K}_{M87}$), în anul t și respectiv în anul 1987;

d_{1t}, d_{2t}, d_{4t}, d_{187}, d_{287}, d_{487} — valorile indicatorilor specifici de daună pe cele trei componente (D_1, D_2, D_4), în anul t și respectiv în anul 1987.

Considerăm că este mai util ca relația (3) să fie aplicată pentru anul (t) în care se efectuează analiza. În acest caz puterea la care se justifică comutarea între cele două stări rezultă din relația:

$$\frac{1}{2}\left(\Delta P_W + \lambda \frac{U_{SC}}{100} S_n\right)\left(\frac{S}{S_n}\right)^2 \cdot \overline{K}_{Et} \cdot \tau - \left(\Delta P_{Fe} + \lambda \frac{I_0}{100} S_n\right) \cdot \overline{K}_{Et} \cdot \tau + \Delta D_{12t} = 0. \qquad (12)$$

Expresia de calcul al puterii respective va fi:

$$S_{e\lambda D} = S_n \sqrt{\frac{2\left(\Delta P_{Fe} + \lambda \frac{I_0}{100} S_n\right) \cdot \overline{K}_{Et} \cdot \tau - 2\Delta D_{12t}}{\left(\Delta P_W + \lambda \frac{U_{SC}}{100} S_n\right) \cdot \overline{K}_{Et} \cdot \tau}}. \qquad (13)$$

c) Aplicarea criteriului CTA cu considerarea tuturor factorilor

Expresia variației CTA, cu referire la cele două stări, pentru anul t, este:

$$CTA_{12} = \frac{1}{2}\left(\Delta P_W + \lambda \frac{U_{SC}}{100} S_n\right)\left(\frac{S}{S_n}\right)^2 \cdot \overline{K}_{Et} \cdot \tau - \left(\Delta P_{Fe} + \lambda \frac{I_0}{100} S_n\right) \cdot \overline{K}_{Et} \cdot \tau + \Delta D_{12t} + \Delta C_{12t} + \Delta I_{12t} \qquad (14)$$

ceea ce implică calculul puterii la care se justifică comutarea între cele două stări pe baza expresiei:

Tabelul 2

Indicatori specifici de daună pe sectoare tehnologice

Indicator la T_{cr} / Sector	d_{P_0} [lei/kW]			d_{Pi} [lei/kW]														
				0,05 h			0,1 h			0,5 h			0,8 h			1 h		
	d_{1P_0}	d_{2P_0}	d_{4P_0}	d_{1P_1}	d_{2P_1}	d_{4P_1}	d_{1P_2}	d_{2P_2}	d_{4P_2}	d_{1P_3}	d_{2P_3}	d_{4P_3}	d_{1P_4}	d_{2P_4}	d_{4P_4}	d_{1P_5}	d_{2P_5}	d_{4P_5}
T	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,04	1,04	0,12	0,10	0,29	0,04	0,44	0,69	0,15
F	0	0	0	0,03	0,005	0,05	0	0	0	0,02	0	0,03	0	0	0	0	0	0
P	0,07	7,43	1,09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TR	0	0	0	0	0	0	0,03	0,09	0,11	0,01	0,06	0,03	0,01	0	0,04	0	0	0
G	0	0	0	0	0	0	3,63	0	15,12	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Indicator la T_{cr} / Sector	d_{Pi} [lei/kW]												d_W [lei/kWh]		
	1,3 h			1,5 h			2 h			4 h					
	d_{1P_6}	d_{2P_6}	d_{4P_6}	d_{1P_7}	d_{2P_7}	d_{4P_7}	d_{1P_8}	d_{2P_8}	d_{4P_8}	d_{1P_9}	d_{2P_9}	d_{4P_9}	d_{1W}	d_{2W}	d_{4W}
T	0	0	0	0,04	1,04	0,12	2,12	0,74	0,02	2,77	1,39	0,85	1,15	1,92	1,22
F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,61	0	1,41
P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,07	0	4,33
TR	9,35	0	10,6	0	0	0	7,51	0	8,28	0	0	0	0,57	0	0,62
G	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,92	0	8,83

$$S_{e\lambda D}^{CI} = S_n \sqrt{\frac{2\left(\Delta P_{Fe} + \lambda \frac{I_0}{100} S_n\right) \cdot \overline{K}_{Et} \cdot \tau - 2(\Delta D_{12t} + \Delta I_{12t} + \Delta C_{12t})}{\left(\Delta P_W + \lambda \frac{U_{SC}}{100} S_n\right) \overline{K}_{Et} \cdot \tau}} \quad (15)$$

unde :

ΔC_{12t} reprezintă cheltuielile suplimentare de exploatare, în anul t, prin funcționarea după caz în starea 1 sau 2, față de funcționarea permanentă în starea 2 [lei];

ΔI_{12t} — cota cheltuielilor suplimentare de investiții, corespunzătoare anului t, efectuate în anul t_i din cadrul duratei de studiu, datorită funcționării alternative în starea 1 sau 2, față de funcționarea permanentă în starea 2 [lei].

Cheltuielile ΔC_{12t} se referă, în special, la valoarea elementelor din cadrul întreruptoarelor, care fiind supuse la uzură accelerată prin manevre repetate, trebuie înlocuite la efectuarea reviziilor (contacte, camere de stingere, elemente ale mecanismului de acționare etc.) și se pot aprecia cu relația :

$$\Delta C_{12t} = \Delta N_{12t}\left(\frac{C_t}{N_R} + \frac{C'_t}{N'_R}\right) =$$

$$= (N_{1t} - N_{2t})\left(\frac{C_t}{N_R} + \frac{C'_t}{N'_R}\right), \quad (16)$$

în care :

N_{1t}, N_{2t} — numărul de manevre la care sînt supuse întreruptoarele în cazul funcționării alternative $1-2(N_{1t})$ și respectiv la funcționarea stabilă în starea 2 (N_{2t});

N_R, N'_R — numărul de manevre între două revizii consecutive ale întreruptorului de MT(N_R) și JT(N'_R);

C_t, C'_t — cheltuieli anuale de exploatare (exclusiv amortismente și CPT), aferente unui întreruptor de MT(C_t) și JT(C'_t) [lei].

Pentru evaluarea termenului ΔI_{12t} se poate aplica relația :

$$\Delta I_{12t} = \frac{V_{AC}^{t_i} - W_{AC}^{t_i}}{(t_i - t)(1+a)^{t_i - t}}; \quad t_i > t \quad (17)$$

unde :

$V_{AC}^{t_i}$ — valoarea preconizată a aparatajului de comutație nou (întreruptoare), care înlocuiește aparatajul uzat, supus manevrelor intensive, în anul înlocuirii (t_i) [lei];

$W_{AC}^{t_i}$ — valoarea remanentă a aparatajului uzat dezafectat, în anul t_i [lei].

2. Asupra configurației de tipul „n + 1"

Stațiile de transformare cu „n" transformatoare de bază și unul de rezervă (fig. 3) sînt frecvent aplicate pentru alimentarea consumatorilor din construcții de mașini [1, 5, 6, 8].

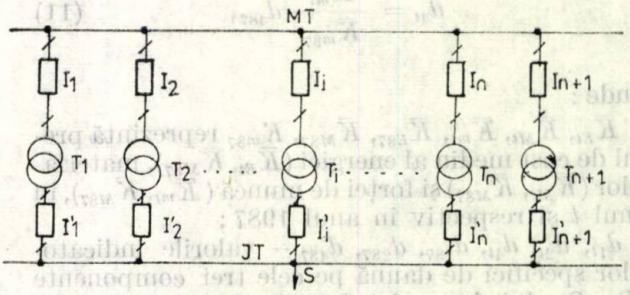


Fig. 3. Schema configurației de tip „n + 1".

În acest caz se pune problema stabilirii stărilor optime de funcționare la puteri absorbite mai mici decît puterea de calcul considerată la evaluarea CTA în faza de proiectare ($S < S_c$). Curbele de sarcină ale consumatorilor respectivi denotă valori $(S_c - S)$ variabile ca profunzime și durată. Pentru respectarea criteriului „pierderi de energie minime", la S dat, se impune deci scoaterea de sub tensiune a unor transformatoare pe anumite intervale de timp. Această operație se poate efectua automat (prin intermediul unui calculator) sau manual (pe baza unor nomograme sau tabele) de către personalul de exploatare.

Pierderile totale de putere pentru o stație cu „n" transformatoare în funcțiune sînt date de relația [1, 2, 5, 6, 8, 14] :

$$\Delta P_{ST}^{(n)} = \Delta P_T^{(n)} + \Delta P_R^{(n)} = \sum_{i=1}^{n} \Delta P_{Fei} +$$

$$+ \left(\frac{S}{\sum_{i=1}^{n} \frac{S_{ni}}{U_{SCi}}}\right)^2 \cdot \sum_{i=1}^{n} \frac{\Delta P_{Wi}}{U_{SCi}^2} + \Delta P_R^{(n)}, \quad (18)$$

în care :

$\Delta P_T^{(n)}$ — pierderile de putere în cele n transformatoare [kW];

$\Delta P_R^{(n)}$ — pierderile de putere activă corespunzătoare transportului puterii reactive absorbită de transformatoare [kW].

Pentru o putere $S_j < S_e$ pierderile minime de putere ($\Delta P_{ST}^{(n_j)}$) rezultă la un număr $n_j < n$ de transformatoare în funcțiune. Prin scoaterea de sub tensiune a $(n - n_j)$ transformatoare, pe intervalul t_j, se poate reduce CPT al stației cu valoarea:

$$\Delta E_j = \Delta P_j t_j = (\Delta P_{ST}^{(n)} - \Delta P_{ST}^{(n_j)}) t_j. \quad (19)$$

În anul t se înregistrează N_j valori ale puterii S_j și „m" valori distincte ale puterii $S < S_e$.

Valoarea totală a energiei electrice care se poate economisi prin manevre în stație (asupra întreruptoarelor I_i și I'_i), în sensul optimizării CPT, în anul t, este deci:

$$\Delta E_t = \sum_{j=1}^{m} (N_j \Delta P_j t_j) \cdot \bar{K}_{Et}. \quad (20)$$

Manevrele repetate ale întreruptoarelor implică alocarea unor cheltuieli suplimentare de exploatare (ΔC_{rt}) și eventual a unor fonduri suplimentare de investiții (ΔI_t). De asemenea, apare eventualitatea ca pentru conducerea operativă a manevrelor să fie necesar un sistem adecvat de control-comandă (la stații complexe prin intermediul calculatorului), ceea ce implică alocarea investiției I_{ct}.

În consecință, starea optimă de funcționare a stației cu $(n + 1)$ transformatoare în paralel se obține în urma unor analize detaliate, funcție de curba de sarcină, avînd în vedere valoarea economică a factorilor menționați. Se propune, în acest sens, aplicarea criteriului CTA cu următoarea exprimare matematică:

$$CTA_{ST} = \sum_{t=0}^{T'} \Delta E_t (1+a)^{-t} + \sum_{t=t_{i1}}^{T'} W_{rt}(1+a)^{-t} - \quad (21)$$

$$- \left[\sum_{t=t_{i1}}^{T'} \Delta I_t (1+a)^{-t} + \sum_{t=0}^{T'} (\Delta C_{rt} + I_{Ct})(1+a)^{-t} \right] \geq 0$$

unde:

t_{i1} este anul în care se operează prima înlocuire de aparataj uzat;

W_{rt} — valoarea remanentă a aparatajului înlocuit în anul t, iar

$$\Delta C_{rt} = \Delta N_t \left(\frac{C_t}{N_R} + \frac{C'_t}{N'_R} \right) = \quad (22)$$

$$= (N_t^{(n_j)} - N_t^{(n)}) \left(\frac{C_t}{N_R} + \frac{C'_t}{N'_R} \right),$$

unde:

$N_t^{(n_j)}$, $N_t^{(n)}$ reprezintă numărul de manevre ale întreruptoarelor în cele două stări de funcționare.

Aprecierea termenului ΔI_t se face prin aplicarea relației (17) la fiecare moment t_{ij} ($t_{i1} \leq t_{ij} \leq T'$). Determinarea valorilor ΔI_{12t} și ΔI_t necesită cunoașterea momentelor t_i (t_{ij}) și deci a numărului mediu de manevre ($\bar{N}_T$) la care rezistă întreruptoarele pe durata de viață (T), în diferite condiții de funcționare. Determinarea numărului $\bar{N}_T$ necesită urmărirea aparatajului respectiv în exploatare sau efectuarea de încercări accelerate la firma producătoare. Valoarea termenilor ΔC_{12t} și ΔC_{rt} poate fi apreciată avînd în vedere numărul de manevre în anul t, numărul normat de manevre între două revizii [4] și cheltuielile anuale de exploatare [1].

3. Aplicație

Schema monofilară a stației de transformare, pentru care s-a efectuat analiza după metodologia descrisă, se reprezintă în figura 4.

Se constată existența a două configurații de tipul „2 × × 100%" (PT1 și PT2) și a două configurații de tipul „n + + 1" PT3 + PT4 + PT9 ≙ (3 + 1) și PT (5 ÷ 8) + PT 10 + + PT11 ≙ (5 + 1)). Curbele de sarcină s-au trasat în figura 5.

Puterea instalată (P_i) și coeficienții de utilizare ai puterii instalate (K_u) pe sectoare tehnologice se evidențiază în tabelul 3, iar caracteristicile transformatoarelor se dau în tabelul 4.

Alte elemente de calcul:

$\lambda = 0{,}03$ kW/kvar [1]; $\bar{K}_{Et} = 0{,}55$ lei/kWh; $\tau = 7200$ h; $N_R = N'_R = 300$ (val. min. [4]); $C_t + C'_t = 0{,}066$ ($\bar{V}_{I_i} + \bar{V}_{I'_i}$) = = 9,73 mii lei [1]

$\bar{V}_{I_i}$, $\bar{V}_{I'_i}$ valoarea medie a întreruptoarelor de MT și JT utilizate ($\bar{V}_{I_i} = 116{,}7$ mii lei; $\bar{V}_{I'_i} = 30{,}7$ mii lei)

Întrucît nu se dispune de datele necesare, la aplicarea relațiilor (15) și (21) nu s-au luat în considerare termenii ΔI_{12t}, ΔI_t, W_{rt} și I_{ct}.

Rezultatele calculelor pentru configurații de tipul „2 × × 100%" sînt prezentate în tabelul 5, iar pentru configurații de tipul „n + 1" în tabelul 6.

La evaluarea daunei (ΔD_{12t}) s-a considerat și componenta D_4. Calculele s-au efectuat pentru trei valori ale parametrului T_{CR}: $8{,}33\ 10^{-4}$ h (corespunzător existenței sistemului AAR); 0,1 h (caz în care comutarea alimentării de rezervă se face prin comanda manuală a întreruptoarelor de către personalul permanent de exploatare) și 2,5 h (după care se va repune în funcțiune chiar și calea de alimentare avariată). Pentru a dispune de elemente comparative de apreciere asupra transformatoarelor care deservesc toate sectoarele tehnologice, s-a analizat și configurația 2 × 630 kVA (TR + G), inexistentă în situația actuală, dar posibilă. Aplicarea relației (21) simplificată (neconsiderînd termenii ΔI_t, I_{ct} și W_{rt}), pentru anul în curs, denotă existența relației $\Delta E_t \gg \gg \Delta C_{rt}$ la nivelul ambelor configurații analizate.

Funcționarea stației de transformare în stările optime, menționate prin intermediul tabelelor 5 și 6, conduce la obținerea unei economii de peste 1950 MWh/an față de starea cu toate transformatoarele în funcțiune.

Concluzii

Stațiile de MT/JT, utilizate pentru alimentarea cu energie electrică a consumatorilor industriali din domeniul construcțiilor de mașini, înglobează următoarele configurații tipice: „2 × 100%" și „n + 1".

Cu referire la configurația „2 × 100%" s-au dedus, pe baza criteriului CTA, două relații de calcul pentru puterea absorbită la care se justifică comutarea de la starea cu rezerva pasivă

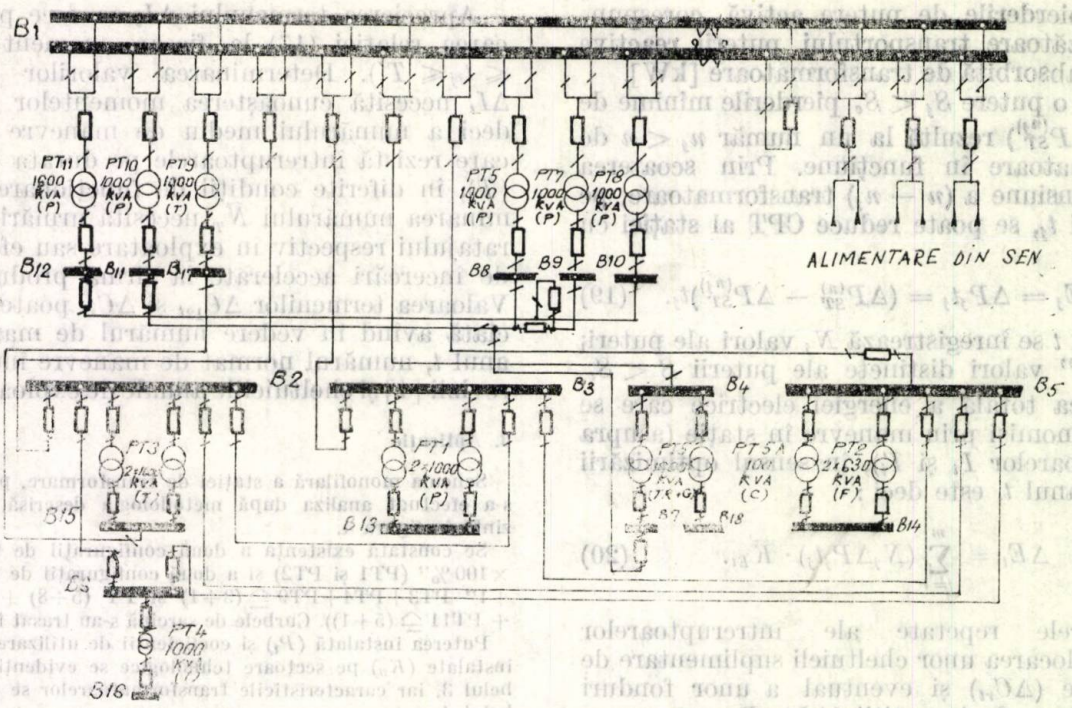


Fig. 4. Schema monofilară a staţiei de transformare 6/0,4 kV pentru alimentarea cu energie electrică a întreprinderii analizate: T — turnătorie; F — forje; P — prelucrări prin aşchiere; TR — tratament; G — galvanizare; C — calculator.

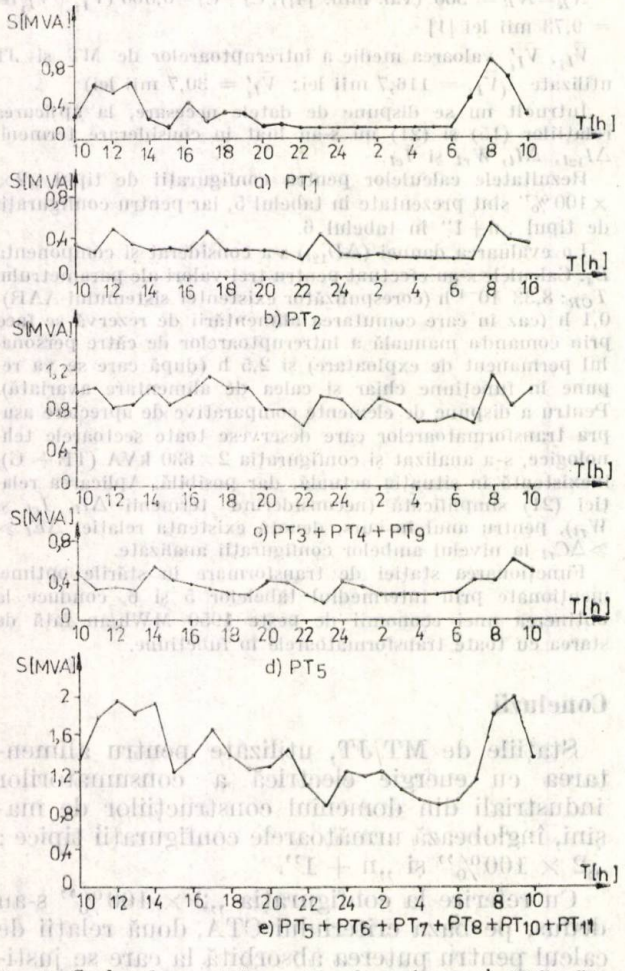


Fig. 5. Curbe de sarcină pe transformatoare şi grupe pe transformatoare.

Tabelul 3

Caracteristici de consum pe sectoare tehnologice

Sector tehnologic / Indicator	T	F	P		TR	G
			Total	PT1		
P_i [kW]	1751	265	7422	1866	1988	198
K_u	0,18	0,22	0,14	0,1	0,15	0,15

Tabelul 4

Caracteristicile transformatoarelor

S_n[kWA]	U_{1n}/U_{2n} [kV/kV]	ΔP_{Fe}[W]	ΔP_W [W]	ΔU_{SC} [%]	I_0[%]
630	6/0,4	1700	9900	6	4,8
1000	6/0,4	2730	14100	6	4,1
1600	6/0,4	3900	21000	6	3,5

la starea cu rezerva activă şi invers. Relaţia (13) are în vedere factorii : consum propriu tehnologic şi nivel de siguranţă, iar relaţia (15) cuprinde şi cheltuielile suplimentare de investiţii şi exploatare implicate de manevrele intensive ale aparatajului de comutaţie. Aprecierea valorică a factorilor menţionaţi este detaliată, în cadrul lucrării, prin relaţii şi indicatori caracteristici domeniului analizat. Se constată că în condiţiile unor manevre suplimentare normale (1÷5 pe zi), valorile puterilor la care se justifică comutarea între cele două stări, rezultate prin aplicarea criteriului CTA, au deplasări relativ reduse (1÷10 kVA) faţă de valorile stabilite

Elemente de calcul pentru configurații de tipul „2×100%” *Tabelul 5*

Configurația existentă / Elemente de calcul	$\frac{S_e}{S_e\lambda}$ [kVA/kVA]	ΔD_{12t} [mii lei] la T_{CR}[h]			$\frac{\Delta N_{12t}}{\Delta C_{12t}}$ [1/mii lei]	$\frac{S_{e\lambda D}}{S^c_{e\lambda D}}$ [kVA/kVA] la T_{CR}[h]			Starea de funcționare	
		$8{,}33\cdot10^{-4}$	0,1	2,5		$8{,}33\cdot10^{-4}$	0,1	2,5	de bază	ocazional
2×1000 kVA (P)	622/706	27,5	27,8	31,4	313/10,2	705/705	705/705	705/705	1	2
2×630 kVA (F)	369/433	0	0,067	0,66	939/30,6	433/432	433/432	433/432	1	2
2×1000 kVA (T)	622/706	0	0,076	36	626/20,4	706/705	706/705	705/704	2	1
2×630 kVA (TR+G)	369/433	0	91,4	279,1	939/30,6	433/432	431/430	428/426	1	2

Elemente de calcul pentru configurații de tipul „n+1” *Tabelul 6*

Configurația existentă / Elemente de calcul	Puterea aparentă [kVA]		$\frac{S_e}{S_{e\lambda}}$ [kVA/kVA]	$\frac{\Delta N_t}{\Delta C_{rt}}$ [1/mii lei]	ΔE_t [mii lei]	Starea de funcționare	
	instalată	optimă				de bază	ocazională
PT3+PT4+PT9	4×1000	2×1000	622/706	626/20,4	485,76	2	1
PT (5÷8)+PT10+ +PT11	4×1000+ +2×1600	2×1600	975/1094	626/20,4	527,5	2	1

prin aplicarea criteriului „pierderi minime de putere”. Abaterile menționate sînt funcție de timpul după care se conectează alimentarea de rezervă și de specificul sectoarelor tehnologice. Evaluările efectuate denotă faptul că și la introducerea în calcul a tuturor factorilor implicați, modul de rezervare în cadrul configurației „2 × 100%” se stabilește pe baza curbei de sarcină, nefiind justificată funcționarea permanentă în starea cu rezerva activă.

Pentru stabilirea stărilor optime ale configurațiilor de tipul „n + 1” (n > 1) se propune aplicarea criteriului CTA într-o exprimare specifică (relația 21), avînd în vedere valoarea economiei de EE, pe de o parte, și cheltuielile suplimentare de investiții și exploatare, pe de altă parte. Se constată că funcționarea în stările optime permite înregistrarea unor importante economii de EE, net superioare față de cheltuielile suplimentare implicate.

Bibliografie

[1] Albert, H. ș.a. *Alimentarea cu energie electrică a întreprinderilor industriale*. Ed. Tehnică, București, 1978.

[2] Albert, H. *Pierderi de putere și energie în rețelele electrice*. Ed. Tehnică, București, 1984.

[3] Bichir, N. I. *Transformatorul electric*. Îndrumar de proiectare, E. D. P., București, 1979.

[4] Cruceru, C. ș.a. *Tehnologia reparării și întreținerii utilajelor electromecanice*, E.D.P., București, 1982.

[5] Dumitrescu, I. ș.a. *Prelucrarea automată a datelor pentru întocmirea bilanțurilor energetice*. Ed. Tehnică, București, 1979.

[6] Felea, I. *Contribuții privind optimizarea nivelului de siguranță a consumatorilor industriali din domeniul industriei construcțiilor de mașini*. Teză de doctorat, I. P. București, 1985.

[7] Felea, I. *Caracteristicile de daună pentru receptoare specifice întreprinderilor constructoare de mașini*. În: Energetica, 34, 1986, nr. 6, p. 241—254.

[8] Malyšev, A. E. *Minimizacija poter' v silovyh transformatorah pri izmenii regima nagruzki*. În: Promyšlennaja energhetika, nr. 11, 1983, p. 25—27.

[9] Marinescu, Gh. *Metodă de calcul pentru determinarea regimului economic de funcționare a transformatoarelor*. În: Energetica, 29, 1981, nr. 5, p. 221—230.

[10] Mihăileanu, C. ș.a. *Corelarea nivelului de siguranță în alimentarea cu energie electrică sau termică cu consumul propriu tehnologic la consumatorii industriali*. În: Energetica, 26, 1978, nr. 11—12, p. 439—444.

[11] Nitu, V. I. *Fiabilitatea instalațiilor energetice*. Ed. Academiei R.S.R., București, 1973.

[12] Nitu, V. I., Felea, I. *On the structure of damage caused by electricity outages to consumers in the manufacturing industry*. În: Revue Roumaine des Sciences Techniques, nr. 3/1986, p. 297—310.

[13] Șorea, B. ș.a. *Unele aspecte ale aprecierii funcționării stațiilor de transformare de tip SRA după criteriul: nivel de siguranță—consum propriu tehnologic*. Conferința de Energetică, București, 1986, vol 12, p. 250—261.

[14] Veiko, P. M. *Sakraščenie poter' elektroenergii v silovyh transformatorah*. În: Promyšlennaja energhetika, 1983, nr. 11, p. 27—30.

(Primit la 14 iulie 1987, acceptat la 17 decembrie 1987)

Fuziunea nucleară rece

Ing. Rusu Adrian *

Descriptori: fuziune nucleară

Articolul prezintă pe scurt un eveniment ştiinţific care pare să deschidă o nouă epocă în istoria energeticii nucleare: demonstrarea experimentală a posibilităţii fuziunii deuteriului cu tritiul la temperaturi de cîteva sute de grade, fuziune catalizată miuonic sau „rece" (comparativ cu fuziunea termonucleară, ce se produce abia la 100 000 000 grade). Se sugerează şi o posibilă schemă de principiu a unei CNE de fuziune miuonică.

The report introduces a scientific event liable to open a new era in the nuclear power history: experimental demonstration of the fusion possibility between deuterium and tritium at temperatures of several hundreds of degrees centigrade, a heavy electron catalysed fusion, "cold fusion" (differing from the thermal nuclear fusion taking place at 100 000 000 degrees centigrade. A possible fundamental diagram of such a heavy electron fusion plant is suggested.

După cum se ştie, reacţia de fuziune constă din contopirea a două nuclee într-unul singur, însoţită de eliberarea unei energii proporţionale cu diferenţa dintre masele nucleelor reactante şi masa nucleului nou format. Exemple tipice de fuziuni sînt următoarele :

$$D_1^2 + T_1^3 \rightarrow He_2^4 + n_0^1 + 17{,}6 \text{ MeV},$$

$$D_1^2 + D_1^2 \rightarrow He_2^3 + n_0^1 + 3{,}27 \text{ MeV},$$

$$D_1^2 + D_1^2 \rightarrow T_1^3 + p_1^1 + 4 \text{ MeV}.$$

Energia eliberată în urma unei astfel de reacţii de fuziune este egală cu produsul dintre defectul de masă (Δm) şi pătratul vitezei luminii, deci :

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2.$$

Dacă într-o astfel de reacţie dispare o masă echivalentă cu o unitate atomică de masă, se va elibera o energie egală cu 931 MeV. Pentru realizarea fuziunii, nucleele reactante trebuie să se apropie pînă la o distanţă egală cu raza de acţiune a forţelor nucleare. Dar, pentru aceasta, nucleele trebuie să învingă mai întîi lucrul mecanic al forţelor de respingere electrostatică :

$$L = \int_{\infty}^{R} \frac{Z_1 \cdot Z_2 \cdot e^2}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_r r^2}\,dr = \frac{Z_1 Z_2 e^2}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_r}\int_{\infty}^{R}\frac{dr}{r^2} =$$

$$= \frac{-Z_1 Z_2 e^2}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_r}\cdot\frac{1}{r}\Bigg|_{\infty}^{R} = \frac{-Z_1 Z_2 e^2}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_r R},$$

unde :

Z_1 şi Z_2 reprezintă numerele de ordine ale nucleelor ce se apropie ;

e — sarcina pozitivă elementară a unui proton ;

ε_0 — permitivitatea electrică absolută a vidului ;

ε_r — permitivitatea electrică relativă a mediului în care se desfăşoară experienţa ;

R — raza de acţiune a forţelor nucleare (de circa 30 000 mai mică decît raza atomică).

Pentru ca să ajungă la apropierea necesară producerii reacţiei de fuziune, nucleele trebuie să aibă energii cinetice mari, posibil de realizat numai în acceleratorii de particule. În plus, probabilitatea ca două nuclee să se ciocnească prin intersectarea fasciculelor lor accelerate este mică. Din aceste motive, energia cheltuită pentru realizarea reacţiei de fuziune este mult mai mare decît energia degajată din reacţie.

Pentru ca probabilitatea de ciocnire a nucleelor să crească, trebuie realizată o plasmă termonucleară, la temperatură foarte înaltă. Temperaturile la care vom obţine un bilanţ energetic pozitiv al reacţiei sînt de ordinul sutelor de milioane de grade (10^8K).

Deoarece lucrul mecanic de respingere coulombiană ce trebuie învins este direct proporţional cu numărul de ordine al nucleelor reactante, trebuie folosite nuclee uşoare (de exemplu fuziunea nucleelor de deuteriu : $Z_1 = Z_2 = 1$).

În continuare se va urmări evoluţia deuteriului la diverse temperaturi. La circa 5000 K moleculele de D_2O se disociază, eliberînd deuteriul D_2. Odată cu creşterea temperaturii, gradul de ionizare a gazului deuteronic creşte, astfel că pe la 10^5 K se obţine o plasmă total ionizată. La 10^6K apar primele reacţii de fuziune a nucleelor libere de deuteriu. La temperaturi de circa $3{,}5 \cdot 10^8$ K reacţiile de fuziune devin autoîntreţinute, reacţia atingînd un bilanţ energetic pozitiv.

Aceste temperaturi extrem de mari pun însă problema, greu de rezolvat, a materialelor de construcţie a reactorului. Se folosesc diverse metode pentru ca plasma să nu intre în contact cu pereţii reactorului :

a) efectul de autocontracţie a plasmei (efect Pinch) prin descărcări în impulsuri de mare putere ;

* Ing. Adrian Rusu — Institutul de Studii şi Proiectări Energetice, Bucureşti.

b) menținerea plasmei în capcane magnetice (cu oglinzi magnetice, de tip toroidal etc.).

De curînd, s-a explorat, din punct de vedere teoretic, o nouă metodă de obținere a reacției de fuziune controlată, legată de mai puține dificultăți tehnologice și cu consumuri energetice masiv reduse.

Această fuziune numită miuonică sau rece, se bazează pe posibilitatea creării unor atomi care să aibă, în locul învelișului electronic, un înveliș miuonic. Miuonii sînt particule elementare, cu sarcină electrică (—e) ca și cea a electronului, dar cu masa de repaus de circa 270 ori mai mare. Miuonii μ^- sînt particule cu viață scurtă, de $2{,}2 \cdot 10^{-6}$ s, care se pot produce pe cale artificială prin coliziunea dintre un fascicul de ioni accelerați și un eșantion de material (de exemplu carbonul). Coliziunea produce pioni, care prin dezintegrare dau miuonii negativi necesari producerii reacției de fuziune.

Miuonii negativi vor fi accelerați pînă la o anumită viteză și proiectați asupra amestecului de deuteriu și tritiu, unde se vor încetini prin coliziuni repetate cu moleculele D_2, T_2 sau $D - T$. Coliziunile cu învelișurile electronice ale moleculelor vor scoate electronii de pe orbitele lor. După un număr de coliziuni, miuonul se va încetini suficient pentru a fi captat pe o orbită asemănătoare celei electronice, dar mult mai apropiată de nucleu. Această orbită de rază mai mică se explică prin faptul că miuonul negativ are o masă de repaus de circa 200 ori mai mare decît a electronului. La fel ca și electronii miuonii nu pot ocupa orice orbită, ci numai un număr discret, cuantificat de orbite, corespunzător numărului discret de stări energetice pe care le pot avea.

În momentul în care miuonul negativ intră pe această orbită joasă, molecula biatomică D_2, T_2, $D - T$ se sparge, obținîndu-se miuoatomi de deuteriu sau de tritiu (fig. 1).

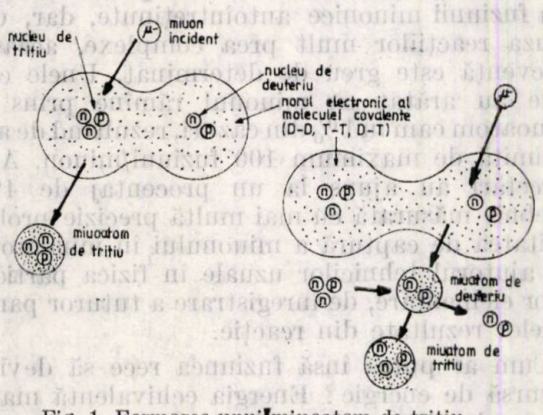


Fig. 1. Formarea unui miuoatom de tritiu.

Deci, în urma invadării unei molecule D_2, T_2, $D - T$ cu un miuon negativ, se pot forma miuoatomi de tritiu sau de deuteriu. Din cauză că nucleul de tritiu este mai masiv, el leagă miuonul mai puternic decît nucleul de deuteriu. De aceea, miuonii care se legaseră inițial de un nucleu de deuteriu, se vor transfera la un nucleu de tritiu, cu ocazia unei coliziuni ulterioare.

Toate fenomenele descrise pot avea loc într-un interval de timp mai scurt de 10^{-3} din viața miuonului. Miuoatomii de tritiu produși în fazele anterioare vor intra în învelișul electronic al unei alte molecule covalente și se vor ciocni cu un nucleu de deuteriu.

Nucleul de tritiu, nucleul de deuteriu și miuonul se combină apoi pentru a forma un ion miuomolecular, în care miuonii μ^- joacă rolul electronilor e^- dintr-o moleculă obișnuită. Din cauza orbitelor mult mai joase ale miuonilor (de circa 270 ori mai joase decît cele ale electronilor), nucleele de deuteriu și de tritiu sînt aduse la distanțe mult mai mici decît în cazul în care molecula avea un nor electronic (fig. 2).

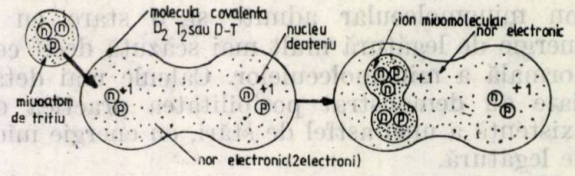


Fig. 2. Formarea unui ion miuomolecular.

Evenimentele care au loc în prima parte a procesului se desfășoară conform legilor fizicii atomice, iar cele din a doua parte a procesului după legile fizicii moleculare. Miuoatomul de tritiu se mișcă prin gazul din vas, pătrunzînd cu ușurință în norul electronic al moleculelor gazului. Cînd el se apropie de un nucleu de deuteriu dintr-o moleculă obișnuită, se poate combina cu aceasta pentru a forma un nucleu de deuteriu și unul de tritiu (vezi figura 2), aproximativ la fel ca un electron, dar distanța dintre nuclee într-un astfel de ion miuomolecular va fi de circa 270 ori mai mică decît într-o electromoleculă. Micul ion miuomolecular poate să rămîn în interiorul electromoleculei, căci dimensiunile reduse i-o permit.

Ionul miuomolecular are sarcina electrică (+1), ($2p^+$ și 1^-), deci poate lua locul unuia dintre nucleele (+1) ale moleculei ($1p^+$ și $1 - 2n^\circ$). Viteza de formare a ionului miuomolecular este unul dintre factorii care determină numărul de reacții de fuziune pe care μ^- le poate cataliza în răstimpul scurtei sale vieți.

Mult timp s-a crezut că formarea ionului miuomolecular este un proces inevitabil lent, din cauza energiei de legătură a ionului, care trebuie eliminată într-un mod oarecare la formarea acestuia. Această energie ar putea fi de exemplu absorbită de electronul electromoleculei în care intră miuoatomul, acesta părăsind molecula. Dar și acest proces este lent, deoarece, conform legilor mecanicii cuantice, electronul poate prelua cantități atît de mari de energie numai în condiții excepționale, relativ rare.

Dar mai există și un alt mecanism de absorbție a acestei energii, printr-un fenomen de rezonanță. Molecula care adăpostește ionul miuomolecular se poate găsi într-un număr finit de stări de vibrație, corespunzătoare energiilor de vibrație permise.

Energia eliberată de formarea unui ion miuomolecular, atingînd unul din nivelurile energetice de vibrație ale moleculei, este absorbită de aceasta. În consecință, molecula începe să vibreze în spațiu. Energiile de legătură ale ionilor miuomoleculari sînt de circa 100 ori mai mari decît cele ale moleculelor normale.

Deci, ionul miuomolecular implicat în fuziune nu s-ar putea forma prin rezonanță decît dacă ar avea o energie de legătură mult mai mică, comparabilă cu nivelul energiilor de vibrație ale moleculei. S-a demonstrat, însă că acest ion miuomolecular admite și o stare cu o energie de legătură mult mai scăzută decît cea normală a miuomoleculelor. Calcule mai detaliate au demonstrat posibilitatea practică de existență a unei astfel de stări, cu energie mică de legătură.

Mecanismul de rezonanță se declanșează deci cu o condiție : energia absorbită de moleculă să fie egală cu una din energiile ei proprii de vibrație. În realitate, energia de legătură a ionului miuomolecular este cu puțin mai mică decît energia de vibrație a moleculei ce-l adăpostește. Diferența de energie pentru ca fenomenul de rezonanță să se producă este furnizată de energia cinetică pe care o au miuoatomul și nucleul de deuteriu în momentul coliziunii. Energia cinetică a particulelor care se ciocnesc se poate regla însă prin reglarea temperaturii gazului $\left(\varepsilon_t = \frac{3}{2} k \cdot T\right)$. Deci, conform modelului rezonant, temperatura gazului are un mare efect asupra vitezei de formare a ionilor miuomoleculari.

Modelul rezonant, ca și influența temperaturii asupra lui, au fost testate și confirmate experimental. S-a constatat că de fapt se pot produce circa 150 fuziuni/miuon, existînd chiar posibilități de creștere a acestui număr.

După formarea ionului miuomolecular, acesta va trece din starea cu energie joasă de legătură într-o stare mai puternic legată, eliminîndu-se în acest proces energie, care va fi ulterior transferată unui electron.

Nucleele din ionul miuomolecular astfel format sînt confinate într-un volum foarte mic. Ele vor continua să se respingă electrostatic reciproc, dar miuonul le readuce continuu unul spre celălalt.

Eventual, cele două nuclee vor fuziona prin efect tunel, trecînd peste bariera respingerii lor reciproce și ajungînd în raza de acțiune a forțelor nucleare tari, cele care leagă nucleonii între ei. Din acest punct, fenomenul va fi guvernat de legile fizicii nucleare și nu de cele ale fizicii moleculare. Cele două nuclee fuzionează, formînd un singur nucleu de He_2^5, care, nu mult după aceea, se desface într-o particulă (He_2^4) și un neutron expulzat. Reacția eliberează energie sub forma energiei cinetice a He_2^4 și a neutronului. Miuonul rămîne în mod normal liber, putînd să catalizeze o nouă fuziune, așa cum se arată în figura 3 *a*, *b*.

Uneori, particula (α) creată în timpul fuziunii capturează miuonul negativ, în virtutea sarcinii sale pozitive, împiedicînd miuonul să mai catalizeze în continuare alte fuziuni și formînd un miuoatom de heliu (varianta 3 *b*). Totuși, această variantă (3 *b*) se poate continua printr-o nouă fuziune, și anume : chiar în varianta că miuonul μ^- a fost capturat într-un miuoatom de heliu, există posibilitatea ca el să fie smuls în cursul unei coliziuni și să-și continue în acest fel rolul catalizator de fuziuni. Experimente și

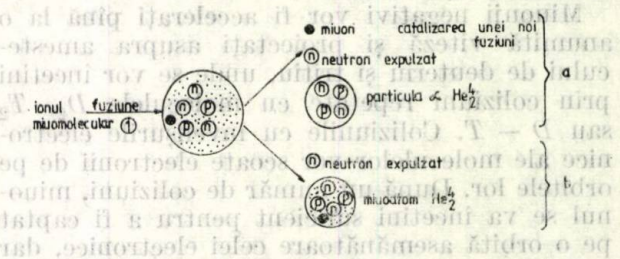


Fig. 3. Fuziunea și dezintegrarea nucleului de He_2^5.

calcule au arătat că, din cauza vitezei mari cu care miuoatomul de heliu se mișcă prin gaz, probabilitatea ca (μ^-) să fie din nou pus în libertate, în urma unei coliziuni, este de circa 25% — 40%.

Dacă (μ^-) rămîne însă în miuoatom pînă cînd acesta își pierde energia cinetică inițială mare el se va dezintegra numai odată cu acesta. Frecvența cu care un miuon rămîne prins de particula (α) este determinantă pentru realizarea fuziunii miuonice autoîntreținute, dar, din cauza reacțiilor mult prea complexe, această frecvență este greu de determinat. Unele calcule au arătat că miuonul rămîne prins în miuoatom cam în 1% din cazuri, rezultînd de aici o limită de maximum 100 fuziuni/miuon. Alte cercetări au ajuns la un procentaj de 4%. Trebuie măsurată cu mai multă precizie probabilitatea de captură a miuonului în miuoatom, cu ajutorul tehnicilor uzuale în fizica particulelor elementare, de înregistrare a tuturor particulelor rezultate din reacție.

Cum ar putea însă fuziunea rece să devină o sursă de energie ? Energia echivalentă masei unui miuon este aproximativ egală cu energia eliberată de 6 fuziuni. Deci, în cazul ideal, s-ar putea produce un (μ^-) la fiecare 6 fuziuni catalizate, dar în mod real acest număr de fuziuni necesare crește la 120, cu speranța de reducere odată cu dezvoltarea tehnologiilor acceleratorilor.

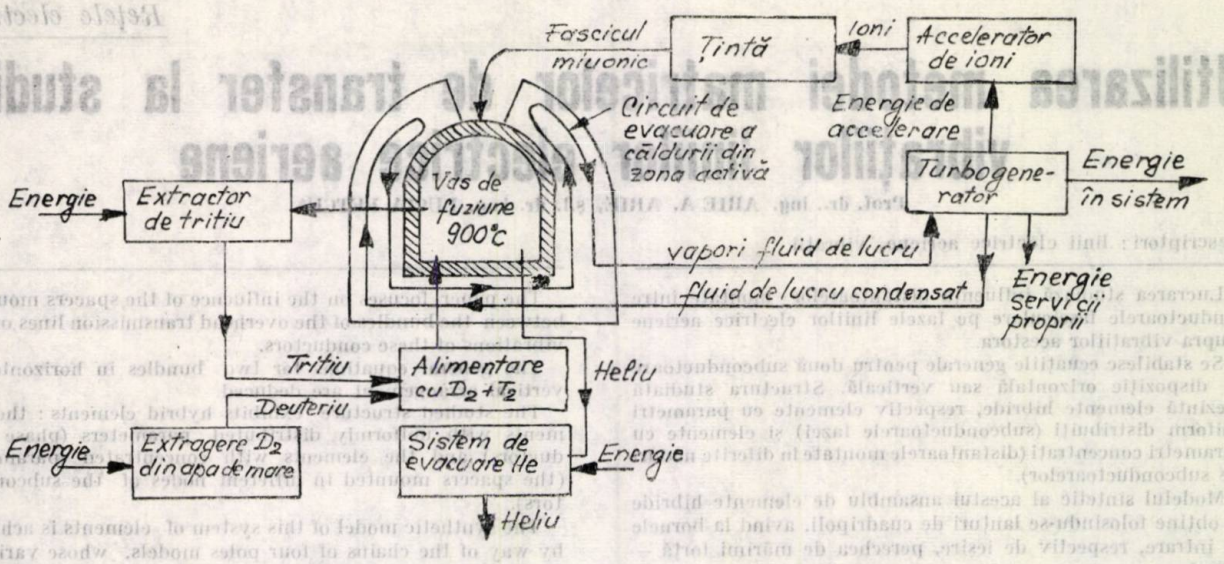


Fig. 4. Schema de principiu a unei centrale nucleroelectrice de fuziune miuonică.

Studiile efectuate la C.E.R.N. au demonstrat că se poate crea un miuon direcționînd un fascicul de ioni asupra unui vas ce conține deuteriu și tritiu, dar cu un consum energetic echivalent cam cu 100—500 fuziuni, în timp ce un (μ^-) nu poate cataliza deocamdată mai mult de 100 fuziuni.

S-a propus o concepție hibridă de producere a energiei electrice, prin cuplarea fuziunii miuonice cu fisiunea nucleară. În afară de rolul fuziunii de a genera energie, neutronii expulzați ar putea fi folosiți pentru fertilizarea unui combustibil nuclear, ce urmează a fi utilizat într-o CNE clasică, de fisiune.

O altă optimizare ar fi producerea miuonilor chiar în camera în care urmează să aibă loc fuziunea, prin direcționarea asupra ei a unui fascicul de ioni puternic accelerați.

Fuziunea nu va produce decît heliu, care este un gaz inofensiv, și nu deșeuri radioactive greu de gospodărit și tratat. Pe de altă parte, materia primă este abundentă : apa mărilor conține deuteriu și litiu, din care se obține tritiul.

Nu numai (μ^-), dar și alte particule elementare ar putea juca rolul de catalizatori ai fuziunii (cum ar fi de exemplu cuarcii, dacă vor fi pînă la urmă descoperiți). Oricum, miuonul (μ^-) este adecvat catalizării unui șir lung de reacții, din trei motive :

— fenomenul de rezonanță permite formarea rapidă a ionului miuomolecular ;

— (μ^-) are o mare probabilitate de a fi pus în libertate după fuziune și deci de a cataliza noi fuziuni ;

— fuziunea catalizată miuonic are un optim la o temperatură a gazului de circa 900°C, accesibilă tehnologic.

Din procesul de producere a (μ^-), indiferent care ar fi acesta, vor apărea, conform principiului generării în perechi, și (μ^+), posibil de folosit în scopuri științifice.

În concluzie, fuziunea catalizată miuonic este mult mai puțin complicată din punct de vedere tehnologic decît cea realizată în plasmă la 100 milioane grade.

Realizarea ei în scopuri energetice este determinată însă de existența unei surse de miuoni, obținuți cu un consum de energie mai mic decît energia ce se scontează a fi obținută din fuziune, astfel ca bilanțul energetic total al șirului de reacții să fie pozitiv.

S-au făcut propuneri de utilizare în acest scop a fluxurilor de miuoni produși de interacțiunea razelor cosmice cu atmosfera înaltă a pămîntului, aceste fluxuri atingînd valori de 500—3000 miuoni/m^2 · s.

Fluxurile miuonice pot fi focalizate în cîmpuri magnetice conice, datorită apariției unor forțe lorentziene asupra miuonilor încărcați electric negativ. Aceste fluxuri focalizate pot atinge intensități foarte mari, utilizabile direct pentru reactorul de fuziune. Fuziunea catalizată miuonic, deși există ca idee de mai mult de 40 ani, revine din nou în actualitate, mai ales în contextul actualei dileme energetice.

Fuziunea rece, miuonică, reprezintă un teren fertil pentru o cercetare științifică de avangardă, combinată îndeaproape cu aplicații tehnologice imediate și de o deosebită utilitate.

Schema de principiu a unei astfel de centrale nucleroelectrice de fuziune este cea din figura 4.

Bibliografie

[1] Jones, S. E. În: Scientific American, iulie, 1986.
[2] Jones, S. E. În: Physics Review Lett., 56.588, 1986.
[3] Iordănescu, A. *Fuziunea termonucleară controlată.* Ed. Albatros, 1985.

Utilizarea metodei matricelor de transfer la studiul vibrațiilor liniilor electrice aeriene

Prof. dr.. ing. ARIE A. ARIE, ș.l. dr. ing. LUCIA FETCU*

Descriptori : linii electrice aeriene, vibrații

Lucrarea studiază influența distanțoarelor montate între conductoarele fasciculare pe fazele liniilor electrice aeriene asupra vibrațiilor acestora.

Se stabilesc ecuațiile generale pentru două subconductoare cu dispoziție orizontală sau verticală. Structura studiată prezintă elemente hibride, respectiv elemente cu parametri uniform distribuiți (subconductoarele fazei) și elemente cu parametri concentrați (distanțoarele montate în diferite noduri ale subconductoarelor).

Modelul sintetic al acestui ansamblu de elemente hibride se obține folosindu-se lanțuri de cuadripoli, avînd la bornele de intrare, respectiv de ieșire, perechea de mărimi forță — viteză.

Punîndu-se în condițiile de limită în nodurile de suspensie în clemele conductoarelor rezultă condițiile critice de rezonanță

The paper focuses on the influence of the spacers mounted between the bundles of the overhead transmission lines on the vibrations of these conductors.

The general equations for two bundles in horizontal or vertical arrangement are deduced.

The studied structure exhibits hybrid elements : the elements with uniformly distributed parameters (phase conductors) and the elements with concentrated parameters (the spacers mounted in different nodes of the subconductors).

The synthetic model of this system of elements is achieved by way of the chains of four poles models, whose variables at the input, output terminals is the pair force-speed.

Based on the boundary conditions in the suspension nodes (in clamps) of the conductors, the critical conditions of resonance are determined.

Una din problemele importante urmărite în cadrul calculului dinamic al liniilor electrice aeriene este atenuarea vibrațiilor transversale de amplitudine mică produse de vînt, care conduc la apariția fenomenului de oboseală în materialul conductoarelor. Pentru rezolvarea acestei probleme este necesară adoptarea unui model analitic cu ajutorul căruia să se poată descrie mișcarea vibratorie a sistemului în diferite variante constructive, pentru diferite condiții de funcționare, în vederea optimizării ei.

Într-o primă aproximație, vibrațiile transversale de amplitudine mică ale conductoarelor liniilor electrice aeriene se pot studia utilizîndu-se teoria coardei vibrante, care conduce la un model liniar de calcul. În acest scop, se neglijează efectul săgeții statice a conductorului asupra comportării sale dinamice și se consideră constantă proiecția pe orizontală, H_0, a efortului axial.

Ecuațiile de mișcare stabilite în cadrul teoriei coardei vibrante permit determinarea frecvențelor proprii ale conductoarelor și studiul răspunsului acestora la diferite tipuri de excitație. Soluționarea ecuațiilor nu ridică probleme în cazul unui singur conductor, dar apariția cuplajului mișcărilor vibratorii la liniile electrice aeriene fasciculare conduce la o sensibilă creștere a volumului calculelor ; pentru sistematizarea acestora și pentru pregătirea în vederea efectuării lor pe un calculator programabil, se poate utiliza metoda matricelor de transfer, care va fi prezentată în cele ce urmează, cu particularitățile aplicării ei la studiul vibrațiilor liniilor electrice aeriene.

* Prof. dr. ing. Arie A. Arie, ș.l. dr. ing. Lucia Fetcu — Facultatea de Electrotehnică și Energetică, Institutul Politehnic București

1. Principiul metodei

Starea conductorului aflat în mișcare vibratorie este caracterizată de viteza $v(x, t)$ și de componenta verticală $f(x, t)$ a efortului axial. Aceste două mărimi definesc vectorul de stare într-o secțiune x a conductorului :

$$\{z(x, t)\} = \begin{Bmatrix} f(x,t) \\ v(x,t) \end{Bmatrix}. \quad (1)$$

În cazul unei mișcări armonice, vectorul de stare devine :

$$\{z(x, t)\} = \begin{Bmatrix} F(x) \\ V(x) \end{Bmatrix} e^{i\omega t} = \{Z(x)\} e^{i\omega t}, \quad (2)$$

unde $F(x)$ și $V(x)$ reprezintă amplitudinea forței și vitezei în secțiunea x.

Pe un conductor dat (fig. 1), secțiunile în care se realizează legăturile cu alte elemente din sistem (punctele de prindere, de amplasare a absorbitorilor dinamici sau a distanțierelor, de aplicare a unei forțe perturbatoare) definesc o serie de noduri $(0,1,\ldots j, j+1, \ldots n)$ și acestea delimitează tronsoanele $0-1$, $1-2, \ldots j-(j+1), \ldots (n-1)-n$, avînd respectiv lungimile $l_0, l_1, \ldots l_j, \ldots l_{n-1}$.

Legătura între amplitudinile vectorilor de stare de la extremitățile tronsonului $j-(j+1)$, $\{Z\}_j^D$ și $\{Z\}_{j+1}^S$ este dată de matricea de transfer $[T]_{j,j+1}$:

$$\{Z\}_{j+1}^S = [T]_{j,j+1} \{Z\}_j^D. \quad (3)$$

Forma matricei de transfer se stabilește integrînd ecuațiile de mișcare pentru tronsonul considerat.

La trecerea peste un nod j, vectorul de stare se modifică datorită discontinuității introduse

de forțele de legătură, $p_j(t)$. Izolînd nodul și scriind condițiile de echilibru pentru forțele din nod, se obține relația de salt peste nod între vectorii $\{Z\}_j^S$ și $\{Z\}_j^D$.

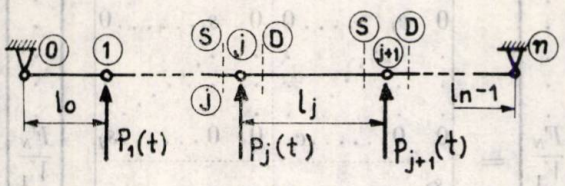


Fig. 1

Matricele de transfer și relațiile de salt peste nod permit exprimarea vectorului de stare în secțiunea de prindere n în funcție de vectorul de stare din secțiunea de prindere 0, ambele caracterizate de viteze nule.

Condițiile de anulare a vitezelor V formează ecuațiile necesare pentru determinarea necunoscutelor.

2. Determinarea matricei de transfer

Se consideră forma deformată a conductorului în mișcare raportată la un sistem de axe (x, y) și se detașează din conductor o porțiune de lungime dx (fig. 2).

Dacă se notează cu $y(x, t)$ elongația secțiunii x la momentul t, viteza devine:

$$v(x, t) = \frac{\partial y}{\partial t}. \tag{4}$$

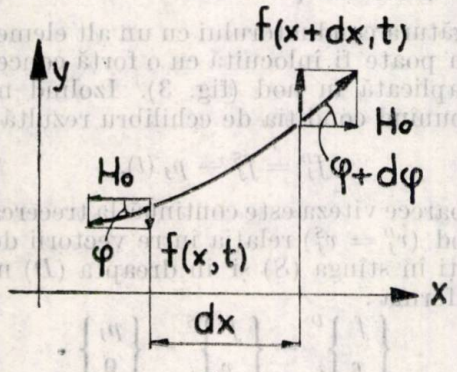


Fig. 2

Din condiții geometrice evidente rezultă:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\partial y}{\partial x} = \frac{f(x, t)}{H_0}, \tag{5}$$

de unde, prin derivare în raport cu timpul se obține:

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{\partial y}{\partial x}\right) = \frac{1}{H_0}\frac{\partial f}{\partial t}, \tag{6}$$

sau, schimbînd ordinea de derivare:

$$\frac{\partial v}{\partial x} = \frac{1}{H_0}\frac{\partial f}{\partial t}. \tag{7}$$

Notînd cu m masa pe unitatea de lungime a conductorului, condiția de echilibru dinamic pentru tronsonul dx are forma:

$$f(x + dx, t) - f(x, t) = m\,dx\frac{\partial v}{\partial t},$$

de unde, prin împărțire cu dx și trecere la limită rezultă:

$$\frac{\partial f}{\partial x} = m\frac{\partial v}{\partial t}. \tag{8}$$

Ecuațiile (7) și (8) formează un sistem, care, pentru o mișcare armonică de forma (2), conduce la

$$\begin{aligned} \frac{dV(x)}{dx} &= \frac{i\omega}{H_0}F(x), \\ \frac{dF(x)}{dx} &= m \cdot i\omega V(x). \end{aligned} \tag{10}$$

Integrînd sistemul (10) se obține:

$$\begin{aligned} F(x) &= C_1 \sin \beta x + C_2 \cos \beta x, \\ V(x) &= \frac{\beta}{m \cdot i\omega}(C_1 \cos \beta x - C_2 \sin \beta x), \end{aligned} \tag{11}$$

cu

$$\beta^2 = \frac{m}{H_0}\omega^2.$$

Notînd cu F_j, V_j amplitudinile forței, respectiv vitezei în extremitatea j a tronsonului $j - (j + 1)$ luată drept origine $(x = 0)$, constantele de integrare devin:

$$C_1 = V_j\, i\sqrt{m \cdot H_0},$$

$$C_2 = F_j,$$

astfel încît relațiile (11) capătă forma:

$$\begin{aligned} F(x) &= F_j \cos \beta x + V_j\, i\sqrt{mH_0} \sin \beta x, \\ V(x) &= \frac{i}{\sqrt{m \cdot H_0}} F_j \sin \beta x + V_j \cos \beta x. \end{aligned} \tag{12}$$

Pentru $x = l_j$ se obțin amplitudinile forței și vitezei în secțiunea $j + 1$:

$$\begin{aligned} F_{j+1} &= F_j \cos \beta l_j + V_j\, i\sqrt{mH_0} \sin \beta l_j, \\ V_{j+1} &= \frac{i}{\sqrt{mH_0}} F_j \sin \beta l_j + V_j \cos \beta l_j, \end{aligned} \tag{13}$$

relaţii care transcrise matriceal devin :

$$\begin{Bmatrix} F \\ V \end{Bmatrix}^S_{j+1} = \begin{bmatrix} \cos \beta l_j & i\sqrt{m \cdot H_0} \sin \beta l_j \\ \dfrac{i}{\sqrt{mH_0}} \sin \beta l_j & \cos \beta l_j \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} F \\ V \end{Bmatrix}^D_j , \tag{14}$$

astfel încît matricea de transfer $[T]_{j,j+1}$ între extremităţile j, $j+1$ ale tronsonului considerat are forma :

$$[T]_{j,j+1} = \begin{bmatrix} \cos \beta l_j & i\sqrt{mH_0} \sin \beta l_j \\ \dfrac{i}{\sqrt{mH_0}} \sin \beta l_j & \cos \beta l_j \end{bmatrix} . \tag{15}$$

Deoarece ecuaţiile de mişcare (10) sînt deduse neglijînd efectul săgeţii statice a conductorului, expresia (15) a matricei de transfer este valabilă pentru orice direcţie de mişcare în planul transversal, normal pe axa x.

În cazul unui fascicul de N conductoare identice în vibraţie transversală după o direcţie comună y, vectorii de stare sînt definiţi de $2N$ componente cu amplitudinile $F_1, \ldots F_K, \ldots F_N$, $V_1, \ldots V_K, \ldots V_N$, astfel încît

$$\{Z\}_j = \begin{Bmatrix} F_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ F_N \\ V_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ V_N \end{Bmatrix}_j \tag{16}$$

Relaţiile (13) sînt valabile pentru fiecare din cele N cabluri ale tronsonului de linie considerat :

$$\begin{aligned} F_{K,j+1} &= F_{K,j} \cos \beta l_j + V_{K,j}\ i\sqrt{mH_0} \sin \beta l_j , \\ V_{K,j+1} &= \frac{i}{\sqrt{mH_0}} F_{K,j} \sin \beta l_j + V_{K,j} \cos \beta l_j , \end{aligned} \tag{17}$$

unde $K = 1, \ldots N$.

Introducînd notaţiile

$$\begin{aligned} c_j &= \cos \beta l_j , \\ s_j &= i\sqrt{mH_0} \sin \beta l_j , \\ a &= mH_0 , \end{aligned} \tag{18}$$

ansamblul de relaţii (17) se poate transcrie matriceal sub forma

$$\begin{Bmatrix} F_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \dfrac{F_N}{V_1} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ V_N \end{Bmatrix}_{j+1} = \left|\begin{array}{cccc|cccc} c_j & 0 & \ldots & 0 & s_j & 0 & \ldots & 0 \\ 0 & c_j & \ldots & 0 & 0 & s_j & \ldots & 0 \\ \cdot & \cdot & \ddots & \cdot & \cdot & \cdot & \ddots & \cdot \\ 0 & 0 & \ldots & c_j & 0 & 0 & \ldots & s_j \\ \hline \dfrac{s_j}{a} & 0 & \ldots & 0 & c_j & 0 & \ldots & 0 \\ 0 & \dfrac{s_j}{a} & \ldots & 0 & 0 & c_j & \ldots & 0 \\ \cdot & \cdot & \ddots & \cdot & \cdot & \cdot & \ddots & \cdot \\ 0 & 0 & \ldots & \dfrac{s_j}{a} & 0 & 0 & \ldots & c_j \end{array}\right| \begin{Bmatrix} F_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \dfrac{F_N}{V_1} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ V_N \end{Bmatrix}_j . \tag{19}$$

Folosind partiţionarea matricelor indicată în relaţia (19) se obţine forma compactă a relaţiei de transfer

$$\{Z\}^S_{j+1} = \begin{Bmatrix} F \\ V \end{Bmatrix}^S_{j+1} = \left(\begin{array}{c|c} c_j I_N & s_j I_N \\ \hline \dfrac{s_j}{a} I_N & c_j I_N \end{array}\right) \begin{Bmatrix} F \\ V \end{Bmatrix}^D_j \tag{20}$$

unde cu $[I_N]$ s-a notat matricea unitate de ordin N.

3. Relaţii de salt peste nod

Legătura conductorului cu un alt element din sistem poate fi înlocuită cu o forţă concentrată $p_j(t)$ aplicată în nod (fig. 3). Izolînd nodul j şi impunînd condiţia de echilibru rezultă

$$f^D_j = f^S_j - p_j(t). \tag{21}$$

Deoarece viteza este continuă la trecerea peste un nod ($v^D_j = v^S_j$) relaţia între vectorii de stare definiţi în stînga (S) şi în dreapta (D) nodului j are forma :

$$\begin{Bmatrix} f \\ v \end{Bmatrix}^D_j = \begin{Bmatrix} f \\ v \end{Bmatrix}^S_j - \begin{Bmatrix} p_j \\ 0 \end{Bmatrix} . \tag{22}$$

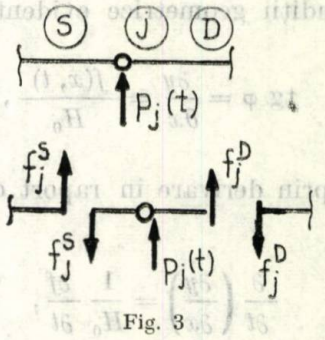


Fig. 3

Dacă forța $p_j(t)$ provine de la un vibrator care generează o excitație armonică

$$p_j(t) = p\, e^{i\omega t}, \tag{23}$$

amplitudinile vectorilor de stare (22) sînt legate prin relația

$$\left\{\begin{matrix} F \\ V \end{matrix}\right\}_j^D = \left\{\begin{matrix} F \\ V \end{matrix}\right\}_j^S - \left\{\begin{matrix} P \\ 0 \end{matrix}\right\}. \tag{24}$$

Dacă forța $p_j(t)$ este generată de o masă auxiliară M concentrată în nodul j, care se deplasează cu viteza V_j, ea are forma :

$$p_j(t) = -M\frac{dv}{dt}. \tag{25}$$

În cazul unei deplasări armonice, relația (25) devine

$$p_j(t) = -M\, i\omega\, V\, e^{i\omega t}, \tag{26}$$

astfel încît amplitudinea P a forței $p_j(t)$ are expresia

$$P = -M \cdot i\omega\, V_j. \tag{27}$$

Înlocuind (27) în (24) rezultă :

$$\left\{\begin{matrix} F \\ V \end{matrix}\right\}_j^D = \begin{bmatrix} 1 & i\,\omega\, M \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \left\{\begin{matrix} F \\ V \end{matrix}\right\}_j^S. \tag{24}$$

Pentru alte tipuri de legături, relațiile de salt peste nod se obțin în mod similar, luînd formele particulare corespunzătoare cazului considerat.

APLICAȚIE

Utilizarea metodei propuse va fi ilustrată pe exemplul unei linii formate din două conductoare identice, paralele, cuplate în plan orizontal printr-un distanțier rigid (fig. 4),

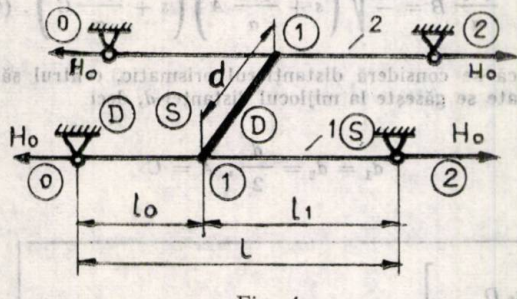


Fig. 4

pentru care se vor determina modurile proprii de vibrație.

Vectorii de stare vor avea patru componente, de amplitudini F_1, F_2, V_1, V_2. Relațiile de transfer pentru tronsoanele 0−1 și 1−2 se obțin prin particularizarea expresiei (20) :

$$\left\{Z\right\}_1^S = \left\{\begin{matrix} F \\ V \end{matrix}\right\}_1^S = \left[\begin{array}{c|c} c_0\ l_2 & s_0\ l_2 \\ \hline \frac{s_0}{a}\ l_2 & c_0\ l_2 \end{array}\right] \left\{\begin{matrix} F \\ V \end{matrix}\right\}_0^D =$$

$$= \left[T\right]_{01} \left\{Z\right\}_0^D. \tag{25}$$

$$\left\{Z\right\}_0^S = \left\{\begin{matrix} F \\ V \end{matrix}\right\}_0^S = \left[\begin{array}{c|c} c_1\ l_2 & s_1\ l_2 \\ \hline \frac{s_1}{a}\ l_2 & c_1\ l_2 \end{array}\right] \left\{\begin{matrix} F \\ V \end{matrix}\right\}_1^D =$$

$$= \left[T\right]_{12} \left\{Z\right\}_1^D. \tag{26}$$

Pentru a stabili relațiile de salt peste nod, se izolează distanțierul (fig. 5) și se scriu condițiile de echilibru dinamic formate dintr-o ecuație de proiecție pe direcția de mișcare y_G și o ecuație de momente față de axa x_G;

$$\begin{aligned} -p_{1,1} - p_{2,1} &= M\frac{dv_G}{dt}, \\ p_{1,1}d_1 - p_{2,1}d_2 &= J\frac{d^2\theta}{dt^2}, \end{aligned} \tag{27}$$

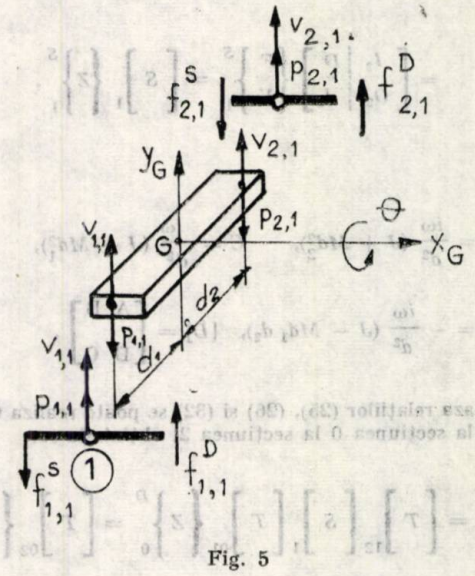


Fig. 5

unde cu M și J s-au notat masa, respectiv momentul de inerție masic ale distanțierului. Deoarece distanțierul execută o mișcare plană, vitezele se distribuie liniar și rezultă:

$$\begin{aligned} v_G &= v_{2,1} + (v_{1,1} - v_{2,1})\frac{d_2}{d} = v_{1,1}\frac{d_2}{d} + v_{2,1}\frac{d_1}{d}, \\ \theta &= \frac{d\theta}{dt} = \frac{v_{2,1} - v_{1,1}}{d}. \end{aligned} \tag{28}$$

În mișcarea după un mod propriu, ansamblul execută vibrații armonice, sincrone și în fază, astfel încît:

$$\begin{aligned} v(t) &= Ve^{i\omega t}, \\ p(t) &= Pe^{i\omega t}, \end{aligned} \tag{29}$$

iar sistemul de ecuaţii (27) devine:

$$-P_{1,1} - P_{2,1} = \frac{i\omega}{d} M (V_{1,1} d_2 + V_{2,1} d_1), \quad (30)$$

$$P_{1,1} d_1 - P_{2,1} d_2 = \frac{i\omega}{d} J(V_{2,1} - V_{1,1}),$$

avînd soluţiile:

$$P_{1,1} = -\frac{i\omega}{d^2}[(J + Md_2^2)V_{1,1} - (J - Md_1 d_2)V_{2,1}],$$

$$P_{2,1} = -\frac{i\omega}{d^2}[-(J - Md_1 d_2)V_{1,1} + (J + Md_1^2)V_{2,1}]. \quad (31)$$

Particularizînd relaţia (21) pentru fiecare din conductoarele 1 şi 2 şi înlocuind amplitudinile forţelor $P_{1,1}$, $P_{2,1}$ date de (31), rezultă relaţia de salt peste nodul 1:

$$\left\{Z\right\}_1^D = \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ V_1 \\ V_2 \end{Bmatrix}_1^D = \left(\begin{array}{cc|cc} 1 & 0 & A & B \\ 0 & 1 & B & C \\ \hline 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{array}\right) \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ V_1 \\ V_2 \end{Bmatrix}_1^S =$$

$$= \left[\begin{array}{c|c} I_2 & D \\ \hline O_2 & I_2 \end{array}\right] \left\{\begin{array}{c} F \\ \hline V \end{array}\right\}_1^S = \left[S\right]_1 \left\{Z\right\}_1^S, \quad (32)$$

unde:

$$A = \frac{i\omega}{d^2}(J + Md_2^2), \qquad C = \frac{i\omega}{d^2}(J + Md_1^2),$$

$$B = -\frac{i\omega}{d^2}(J - Md_1 d_2), \quad [D] = \begin{bmatrix} A & B \\ B & C \end{bmatrix}. \quad (33)$$

Pe baza relaţiilor (25), (26) şi (32) se poate realiza transferul de la secţiunea 0 la secţiunea 2, obţinîndu-se:

$$\left\{Z\right\}_2^S = \left[T\right]_{12}\left[S\right]_1\left[T\right]_{01}\left\{Z\right\}_0^D = \left[T\right]_{02}\left\{Z\right\}_0^D, \quad (34)$$

unde s-a notat $[T]_{02}$ matricea de transfer între extremităţile liniei:

$$[T]_{02} = [T]_{12}[S]_1[T]_{01}. \quad (35)$$

Efectuînd produsele indicate de relaţia (25) rezultă

$$[T]_{02} = \left[\begin{array}{c|c} \left(c_1 c_0 + \frac{s_1 s_0}{a}\right) I_2 + \frac{c_1 s_0}{a} D & (c_1 s_0 + s_1 c_0) I_2 + c_1 c_0 D \\ \hline \frac{1}{a}(s_1 c_0 + c_1 s_0) I_2 + \frac{s_1 s_0}{a^2} D & \left(c_1 c_0 + \frac{s_1 s_0}{a}\right) I_2 + \frac{s_1 c_0}{a} D \end{array}\right] = \left[\begin{array}{c|c} T_{11} & T_{12} \\ \hline T_{21} & T_{22} \end{array}\right] \quad (36)$$

unde $[T_{ij}]$ $(i, j = 1,2)$ sînt submatrice de ordinul 2.

Dacă se ţine cont de semnificaţiile notaţiilor c_0, s_0, c_1, s_1, coeficienţii scalari din matricele $[T_{ij}]$ devin:

$$c_1 c_0 + \frac{s_1 s_0}{a} = \cos\beta l_1 \cos\beta l_0 - \sin\beta l_1 \sin\beta l_0 =$$

$$= \cos\beta(l_0 + l_1) = \cos\beta l = c,$$

$$c_1 s_0 + s_1 c_0 = i\sqrt{m + l_0}\,(\cos\beta l_1 \sin\beta l_0 + \sin\beta l_0 \cos\beta l_0) =$$

$$= i\sqrt{mtl_0}\sin\beta l = s. \quad (37)$$

Deoarece $V_{1,0} = V_{2,0} = V_{1,2} = V_{2,2} = 0$, în final relaţia de transfer (34) capătă forma

$$\begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \cdots \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}_2^S = \left(\begin{array}{c|c} T_{11} & T_{12} \\ \hline T_{21} & T_{22} \end{array}\right) \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \cdots \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}_0^D, \quad (38)$$

de unde, indentificînd ultimele două linii, se obţine:

$$\begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix} = \left[T_{21}\right] \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \end{Bmatrix}_0^D = \left[\frac{s}{a} I_2 + \right.$$

$$\left. + \frac{s_1 s_0}{a^2} D\right] \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \end{Bmatrix}_0^D = \begin{bmatrix} \frac{s}{a} + \frac{s_1 s_0}{a^2} A & \frac{s_1 s_0}{a^2} B \\ \frac{s_1 s_0}{a_2} B & \frac{s}{a} + \frac{s_1 s_0}{a^2} C \end{bmatrix} \cdot$$

$$\cdot \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \end{Bmatrix}_0^D. \quad (39)$$

Relaţia (39) reprezintă un sistem de ecuaţii algebric omogen, cu necunoscutele $F_{1,0}$, $F_{2,0}$, care nu pot fi nule cît timp există vibraţii transversale. Condiţia ca determinantul sistemului (39) să fie nul conduce la ecuaţia pulsaţiilor proprii. Pentru cazul considerat rezultă:

$$\left(\frac{s}{a} + \frac{s_1 s_0}{a^2} A\right)\left(\frac{s}{a} + \frac{s_1 s_0}{a^2} C\right) - \left(\frac{s_1 s_0}{a^2} B\right)^2 = 0 \quad (40)$$

sau

$$\frac{s_1 s_0}{a} B = \sqrt{\left(s + \frac{s_1 s_0}{a} A\right)\left(s + \frac{s_1 s_0}{a} C\right)}, \quad (41\ a)$$

$$\frac{s_1 s_0}{a} B = -\sqrt{\left(s + \frac{s_1 s_0}{a} A\right)\left(s + \frac{s_1 s_0}{a} C\right)}. \quad (41\ b)$$

Dacă se consideră distanţierul prismatic, centrul său de greutate se găseşte la mijlocul distanţei d, deci

$$d_1 = d_2 = \frac{d}{2}, \quad A = C. \quad (42)$$

În aceste condiții, ecuațiile (41) explicitate devin:

$$\sin\beta l = \frac{\omega}{\sqrt{mH_0}} \frac{2J}{d^2} \sin\beta l_0 \sin\beta l_1, \qquad (43\ a)$$

$$\sin\beta l = \frac{\omega}{\sqrt{mH_0}} \frac{M}{2} \sin\beta l_0 \sin\beta l_1. \qquad (43\ b)$$

Soluțiile β_n ale ecuațiilor (43) conduc la pulsațiile proprii ale sistemului considerat

$$\omega_n = \beta_n \sqrt{\frac{H_0}{m}}. \qquad (44)$$

Pentru a determina pozițiile relative ale celor două conductoare în timpul mișcării după un mod propriu, se calculează raportul vitezelor în nodul 1.

Deoarece $V_{1,0} = V_{2,0} = 0$, din relația (25) rezultă:

$$\begin{Bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{Bmatrix}_1 = \begin{bmatrix} \frac{s_0}{a} & 0 \\ 0 & \frac{s_0}{a} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \end{Bmatrix}_0^D = \begin{bmatrix} \frac{s_0}{a} F_{1,0} \\ \frac{s_0}{a} F_{2,0} \end{bmatrix} \qquad (45)$$

$$\text{sau} \quad \frac{V_{1,1}}{V_{2,1}} = \frac{F_{1,0}}{F_{2,1}}.$$

Raportul forțelor în secțiunea 0 se poate calcula din relația (39):

$$\frac{F_{1,0}}{F_{2,0}} = -\frac{s_1 s_0 B}{a\left(s + \frac{s_1 s_0}{a} A\right)} = \frac{V_{1,1}}{V_{2,1}}, \qquad (46)$$

care, pentru condiția (41*a*) conduce la

$$\frac{V_{1,1}}{V_{2,1}} = -\frac{\sqrt{s + \frac{s_1 s_0}{a} C}}{\sqrt{s + \frac{s_1 s_0}{a} A}} = -1, \qquad (A = C),) \qquad (47\ a)$$

iar pentru condiția (41 *b*) la

$$\frac{V_{1,1}}{V_{2,1}} = \frac{\sqrt{s + \frac{s_1 s_0}{a} C}}{\sqrt{s + \frac{s_1 s_0}{a} A}} = 1. \qquad (A = C). \qquad (47\ b)$$

Se constată că, în mișcările executate cu pulsațiile proprii generate de ecuația (43 *a*), cele două conductoare se deplasează cu viteze egale în sensuri opuse, iar pentru cazul definit de ecuația (43 *b*) deplasările se execută cu viteze egale, în același sens, mișcările de rotație și de translație ale traversei fiind decuplate.

Concluzii

Metoda matricelor de transfer permite rezolvarea problemei vibrațiilor transversale de amplitudine mică ale liniilor electrice aeriene fasciculare, pentru toate tipurile de structuri întîlnite în practică. În cazurile simple, metoda poate fi folosită pentru deducerea ecuațiilor pulsațiilor proprii.

Cînd complexitatea sistemului face dificilă explicitarea acestora, metoda poate constitui o bază pentru elaborarea unui algoritm de rezolvare a problemei cu ajutorul unui calculator programabil.

Bibliografie

[1] Mocks, L., Mehta, P. R. *Die statische Biegespannung im Leiterseil als möglicher Einflussfaktor.* In: Aluminium 1969, Heft 4, p. 210—220.

[2] Claren, R., Diana, C. *Vibrazione dei conductori.* In : L'Energia Elettrica, nr. 12, 1966, p. 731—742.

[3] Arie, A., Postolache, P., Dumitrescu, E. *Model mecano-electric pentru studiul vibrațiilor unui ansamblu conductor-amortizor pe LEA.* In : Bul. IPB nr. 2/1982.

[4] Lummis, J., Klopfenstein, A. *Use of technique from electrical-analogues in the study of transmission line vibration.* In : AIEE Transactions, II, 69 (1950), p. 1676—1680.

[5] Tomkins, J. S. *Quantitative relationships in conductor vibration damping.* In : AIEE, Transactions, III, 75 (1956), p. 879—896.

[6] Claren, R., Diana, C., Gasparetto, G. *Effects of the distributed masses of the spacer-damper on the modes of vibration of multiple bundle.* In : L'Energia Elettrica, nr. 12, 1979.

[7] Wagner, H., Ramamurty, Sostry, R., Hartmann, K. *Dynamics of Stokbridge dampers.* In : Journal of Sound and Vibration, 1973, vol. 30, nr. 2, p. 207—220

[8] Arie, A. *Vibration des conducteurs en faisceaux des lignes electriques aériennes.* In : Bull. ISPE, 11 — 1968 nr. 4, p. 60—74.

[9] Arie, A., Golovanov, N., Hurdubeţiu, S., Gheorghiţă, G., Tudor, S. *Reţele electrice. Calculul mecanic.* Editura tehnică, Bucureşti, 1981.

(Primit la 5 februarie 1988, acceptat la 26 februarie 1988,

Măsurători efectuate în stațiile electrice de 110 kV (Chitila, Ploiești Nord și Valea Largă) ce alimentează calea ferată electrificată în vederea evidențierii influenței regimului deformant și nesimetric

Ing. Gheorghe Crețu, ing. Magdalena Bogdan, sing. Marian Voicu*

Descriptori: stații electrice, regim deformant, regim nesimetric

În articol se analizează influența regimului deformant și nesimetric produs în rețeaua de 110 kV de calea ferată electrificată. Se arată mărimea regimului deformant și nesimetric produs în cele trei stații unde s-au efectuat măsurători arătîndu-se că acestea depind de:

— caracteristica generatorului echivalent din nodul de alimentare;
— sarcina trifazată din nodul respectiv;
— fazele între care este racordată calea ferată R—T sau R—S;
— starea existentă a generatorului echivalent dinainte de racordul căii ferate.

Se evidențiază oportunitatea unor măsuri în stațiile unde mărimile respective prezintă abateri importante.

The paper analyzes the influence of the deforming and nonsymmetrical regime occuring in the 110 kV railways network. The quantity of the deforming and non-symmetrical regime occuring in the three substations where the measurements have been carried out is shown. The measurements depend upon:

— the equivalent generator characteristics of the supply node;
— the triphase load of the respective node;
— the phases between which the railway is connected R—T or R—S;
— the existent equivalent generator state preceding the railway connection.

The suitability of measures taken in the substations where those quantities show important deviations is outlined.

Calea ferată electrificată se alimentează prin curent alternativ monofazat la tensiunea de de 27,5 kV (valoarea caracteristică a tensiunii liniei de contact) prin intermediul unor transformatoare 110/27,5 kV, 16 MVA de fabricație internă (Electroputere). Aceste transformatoare reprezintă unități monofazate racordate pe partea de 110 kV între fazele R și T pe tot tronsonul București-Brașov, iar pe partea de 27,5 kV între linia de contact și șină. În alte zone ale țării există transformatoare racordate între fazele R și S (Ciulnița-Fetești-Mircea Vodă, Fetești-Făurei-Galați, Adjud-Bolovăniș, Faraoani-Pașcani-Dolhasca etc.). Locomotivele electrice alimentate în c.a. monofazat au instalate pe ele redresoare care transformă c.a. în c.c. pentru alimentarea motoarelor electrice care acționează locomotivele. Redresarea, ca și alimentarea monofazată, produce un puternic regim deformant în rețelele de 27,5 kV și 110 kV și respectiv un regim nesimetric în rețeaua de 110 kV. ISPE a efectuat o serie de măsurători în mai multe stații electrice care alimentează calea ferată electrificată, urmărindu-se regimul deformant și nesimetric, mărimea acestuia în funcție de sarcina absorbită și de caracteristicile modului energetic echivalent. Lucrarea prezintă rezultatele măsurătorilor efectuate în stațiile electrice 110/27,5 kV Chitila, Ploiești Nord și Valea Largă.

* Ing. Gheorghe Crețu, ing. Magdalena Bogdan, sing. Marian Voicu — Institutul de Studii și Proiectări Energetice, București.

1. Măsurătorile efectuate

În stațiile menționate s-au efectuat (fig. 1) pentru diferite configurații de rețea (pentru a avea puteri de scurtcircuit diferite) următoarele măsurători privind:

— distorsiunea totală de tensiune pe 110 kV;
— distorsiunea totală de tensiune pe 27,5 kV;
— armonicile de tensiune U3, U5, U7, U9, U11, U13 atît în rețeaua de 110 kV, cît și în rețeaua de 27,5 kV;
— armonicile de curent I3, I5, I7, I9, I11, I13 pe transformatoarele de 16 MVA 110/27,5 kV;
— curentul de sarcină pe trafo 16 MVA;
— energiile active și reactive absorbite de calea ferată electrificată (orare, zilnice, lunare și anuale);
— nesimetria de tensiune din rețeaua de 110 kV, avînd în vedere că alimentarea cu energie electrică a căii ferate se face de pe două faze, în cazul stațiilor menționate de pe fazele R și T.

2. Rezultatul măsurătorilor

Măsurătorile au fost efectuate prin înregistrarea mărimilor de mai sus pe timp îndelungat (cîteva zile) și prelucrarea înregistrărilor prin citirea valorilor corespunzătoare unor intervale de 15 secunde (viteza de înregistrare fiind 600 mm/oră). Întrucît datele analizate sînt variabile aleatoare, a fost necesară efectuarea unei analize statistice pentru încadrarea variației acestora în legile de distribuție cunoscute pentru astfel de variabile. În acest scop s-a elaborat

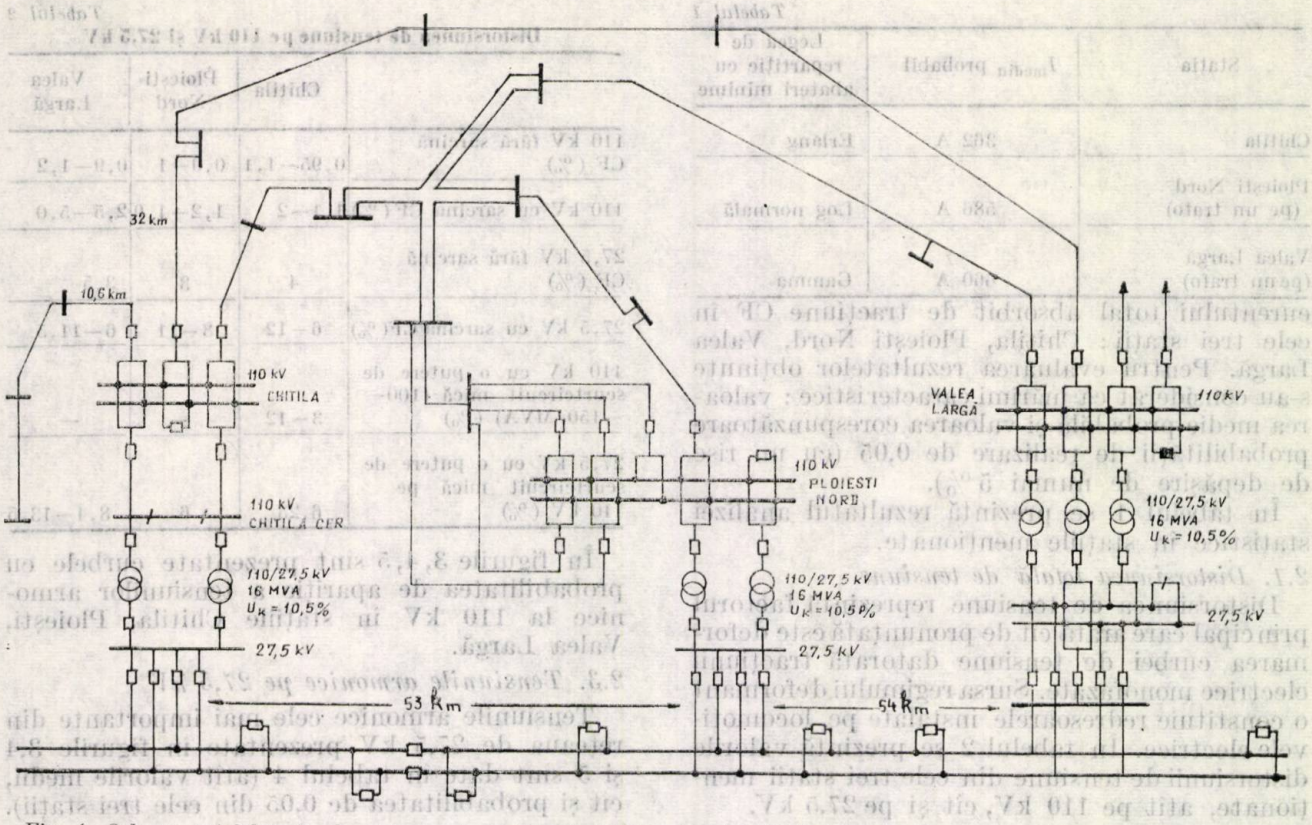
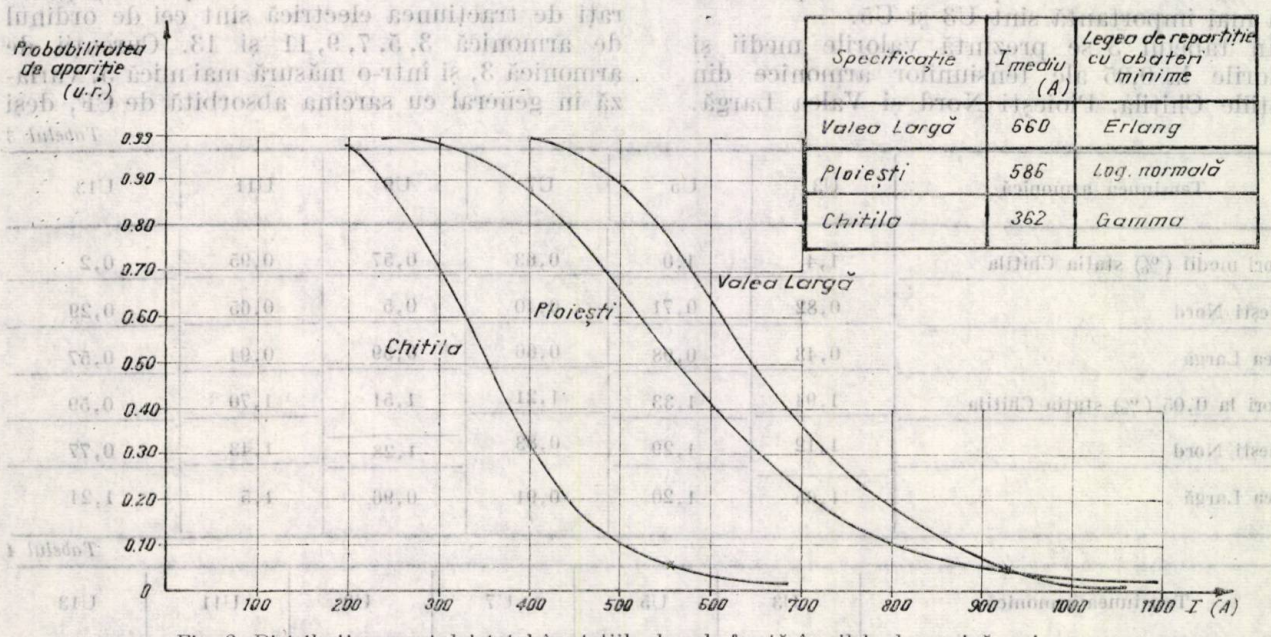


Fig. 1. Schema rețelelor de alimentare cu energie electrică a tracțiunii electrice pe tronsonul Chitila — Valea Largă.



Specificație	I_{mediu} (A)	Legea de repartiție cu abateri minime
Valea Largă	660	Erlang
Ploiești	586	Log. normală
Chitila	362	Gamma

Fig. 2. Distribuția curentului total în stațiile de cale ferată în zilele de sarcină mai mare.

un algoritm și program de calcul pentru calculatorul numeric cu ajutorul căruia s-au determinat funcțiile de distribuție corespunzătoare cu abatere minimă, pentru fiecare mărime analizată (curentul total de sarcină, curenți și tensiuni armonice) în fiecare stație. De asemenea, s-au stabilit coeficienții de corelare între aceste mărimi, pe baza cărora s-au putut desprinde concluzii referitoare la alura funcțiilor de dependență, ca de exemplu $I_n = f(I)$, I_n fiind curent de armonică n, iar I — curentul total de sarcină.

Pe baza calculelor efectuate s-a determinat probabilitatea de realizare a unei valori mai mici sau egale cu o anumită valoare dată. În figura 2 este dată probabilitatea de apariție a

Tabelul 1

Stația	I_{mediu} probabil	Legea de repartiție cu abateri minime
Chitila	362 A	Erlang
Ploiești Nord (pe un trafo)	586 A	Log normală
Valea Largă (pe un trafo)	660 A	Gamma

curentului total absorbit de tracțiune CF în cele trei stații: Chitila, Ploiești Nord, Valea Largă. Pentru evaluarea rezultatelor obținute s-au considerat ca mărimi caracteristice: valoarea medie probabilă și valoarea corespunzătoare probabilității de realizare de 0,05 (cu un risc de depășire de numai 5%).

În tabelul 1 se prezintă rezultatul analizei statistice în stațiile menționate.

2.1. Distorsiunea totală de tensiune

Distorsiunea de tensiune reprezintă factorul principal care arată cît de pronunțată este deformarea curbei de tensiune datorată tracțiunii electrice monofazate. Sursa regimului deformant o constituie redresoarele instalate pe locomotivele electrice. În tabelul 2 se prezintă valorile distorsiunii de tensiune din cele trei statii menționate, atît pe 110 kV, cît și pe 27,5 kV.

2.2. Tensiunile armonice pe 110 kV

Tensiunile armonice pe 110 kV cu ponderea cea mai importantă sînt U3 și U5.

În tabelul 3 se prezintă valorile medii și valorile la 0,05 ale tensiunilor armonice din stațiile Chitila, Ploiești Nord și Valea Largă.

Tabelul 2

Distorsiunea de tensiune pe 110 kV și 27,5 kV

	Chitila	Ploiești Nord	Valea Largă
110 kV fără sarcină CF (%)	0,95–1,1	0,9–1	0,9–1,2
110 kV cu sarcina CF (%)	1,1–2	1,2–1,9	2,5–5,0
27,5 kV fără sarcină CF (%)	4	3	3,5
27,5 kV cu sarcină CF (%)	6–12	3–11	6–11,5
110 kV cu o putere de scurtcircuit mică (100–150 MVA) (%)	3–12	–	–
27,5 kV cu o putere de scurtcircuit mică pe 110 kV (%)	6,23	6	8,4–13,5

În figurile 3, 4, 5 sînt prezentate curbele cu probabilitatea de apariție a tensiunilor armonice la 110 kV în stațiile Chitila, Ploiești, Valea Largă.

2.3. Tensiunile armonice pe 27,5 kV

Tensiunile armonice cele mai importante din rețeaua de 27,5 kV prezentate în figurile 3,4 și 5 sînt date în tabelul 4 (atît valorile medii, cît și probabilitatea de 0,05 din cele trei stații).

2.4. Curenții armonici pe 27,5 kV

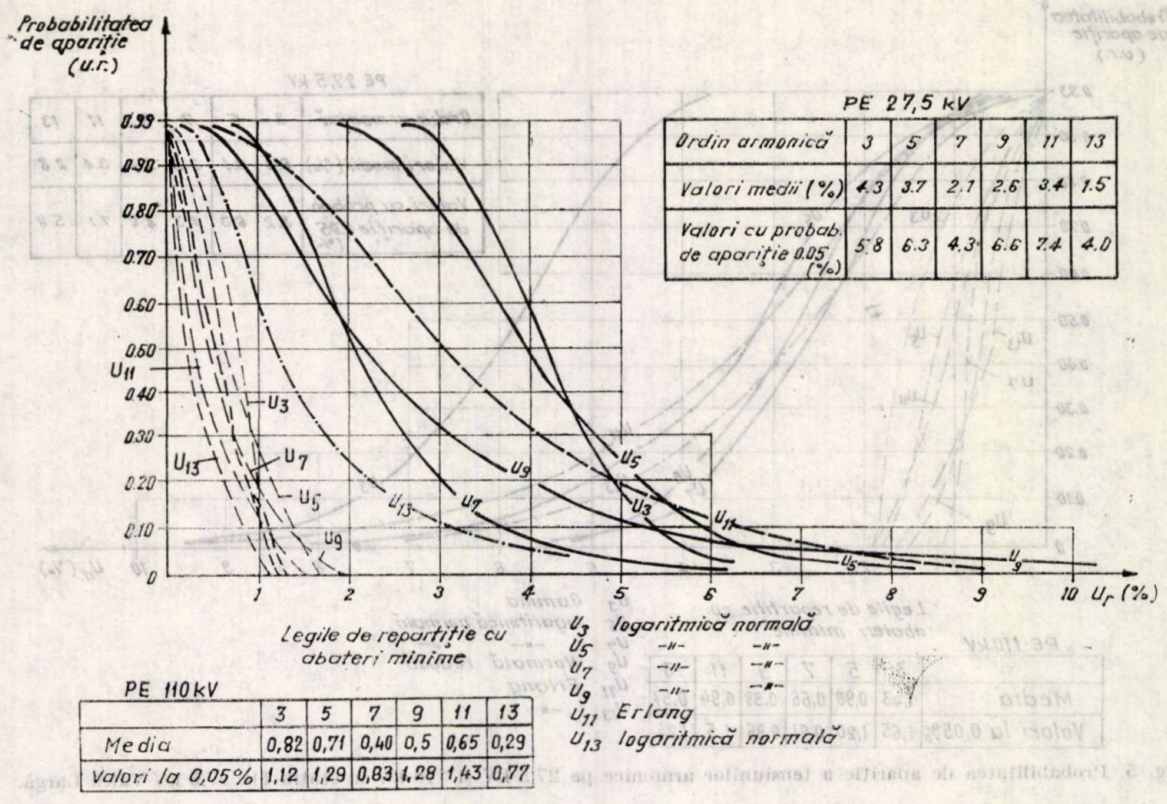
Curenții armonici cei mai importanți generați de tracțiunea electrică sînt cei de ordinul de armonică 3, 5, 7, 9, 11 și 13. Curenții de armonică 3, și într-o măsură mai mică 5, variază în general cu sarcina absorbită de CF, deși

Tabelul 3

Tensiunea armonică	U3	U5	U7	U9	U11	U13
Valori medii (%) stația Chitila	1,4	1,0	0,63	0,57	0,95	0,2
Ploiești Nord	0,82	0,71	0,40	0,5	0,65	0,29
Valea Largă	0,43	0,98	0,66	0,59	0,94	0,57
Valori la 0,05 (%) stația Chitila	1,94	1,33	1,21	1,51	1,70	0,59
Ploiești Nord	1,12	1,29	0,83	1,28	1,43	0,77
Valea Largă	1,65	1,20	0,91	0,96	1,5	1,24

Tabelul 4

Tensiunea armonică	U3	U5	U7	U9	U11	U13
Pentru stația Chitila						
Valoare medie [%]	7,1	5	3,1	2,8	4,7	1,0
Valoare la 0,05 [%]	9,5	6,5	5,9	7,4	8,3	2,9
Pentru stația Ploiești Nord						
Valoarea medie [%]	4,3	3,7	2,1	2,6	3,4	1,5
Valoare la 0,05 [%]	5,8	6,3	4,3	6,6	7,4	4,0
Pentru stația Valea Largă						
Valoare medie [%]	6,0	3,1	2,6	2,8	3,4	2,8
Valoare la 0,05 [%]	8,2	6,3	4,3	4,6	7,1	5,8



PE 27,5 kV

Ordin armonică	3	5	7	9	11	13
Valori medii (%)	4.3	3.7	2.1	2.6	3.4	1.5
Valori cu probab. de apariție 0.05 (%)	5.8	6.3	4.3	6.6	7.4	4.0

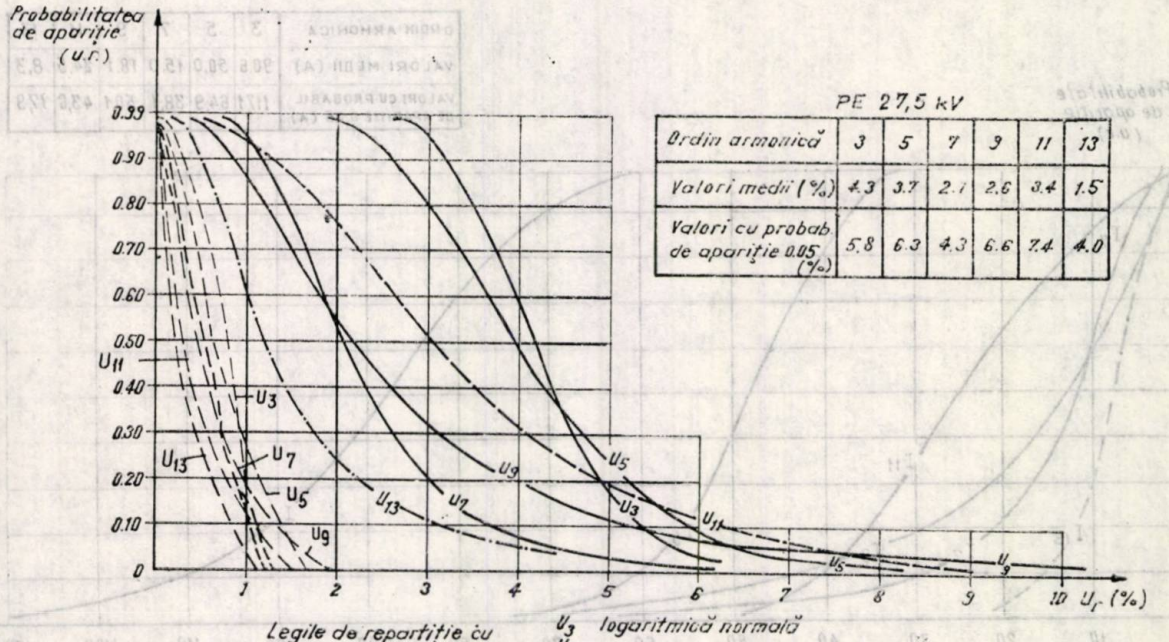
Legile de repartiție cu abateri minime

U_3 logaritmică normală
U_5 -"- -"-
U_7 -"- -"-
U_9 -"- -"-
U_{11} Erlang
U_{13} logaritmică normală

PE 110 kV

	3	5	7	9	11	13
Media	0,82	0,71	0,40	0,5	0,65	0,29
Valori la 0,05%	1,12	1,29	0,83	1,28	1,43	0,77

Fig. 3. Probabilitatea de apariție a tensiunilor armonice pe 27,5 kV și 110 kV în stația 110/27,5 kV Chitila.



PE 27,5 kV

Ordin armonică	3	5	7	9	11	13
Valori medii (%)	4.3	3.7	2.1	2.6	3.4	1.5
Valori cu probab. de apariție 0.05 (%)	5.8	6.3	4.3	6.6	7.4	4.0

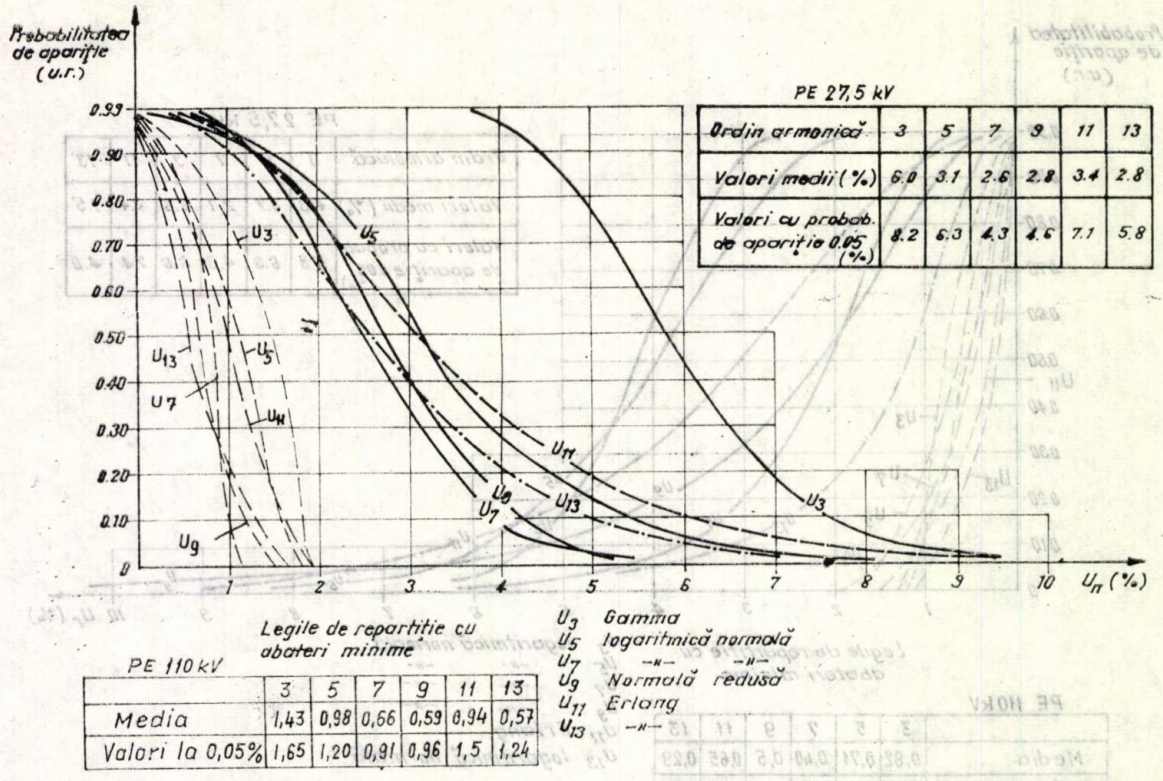
Legile de repartiție cu abateri minime

U_3 logaritmică normală
U_5 -"- -"-
U_7 -"- -"-
U_9 -"- -"-
U_{11} Erlang
U_{13} logaritmică normală.

PE 110 kV

	3	5	7	9	11	13
Media	0,82	0,71	0,40	0,5	0,65	0,29
Valori la 0,05%	1,12	1,29	0,83	1,28	1,43	0,77

Fig. 4. Probabilitatea de apariție a tensiunilor armonice pe 27,5 kV în stația Ploiești Nord.



Legile de repartiție cu abateri minime

PE 110 kV

	3	5	7	9	11	13
Media	1,43	0,98	0,66	0,59	0,94	0,57
Valori la 0,05%	1,65	1,20	0,91	0,96	1,5	1,24

Fig. 5. Probabilitatea de apariție a tensiunilor armonice pe 27,5 kV și 110 kV în stația 110/27,5 kV Valea Largă.

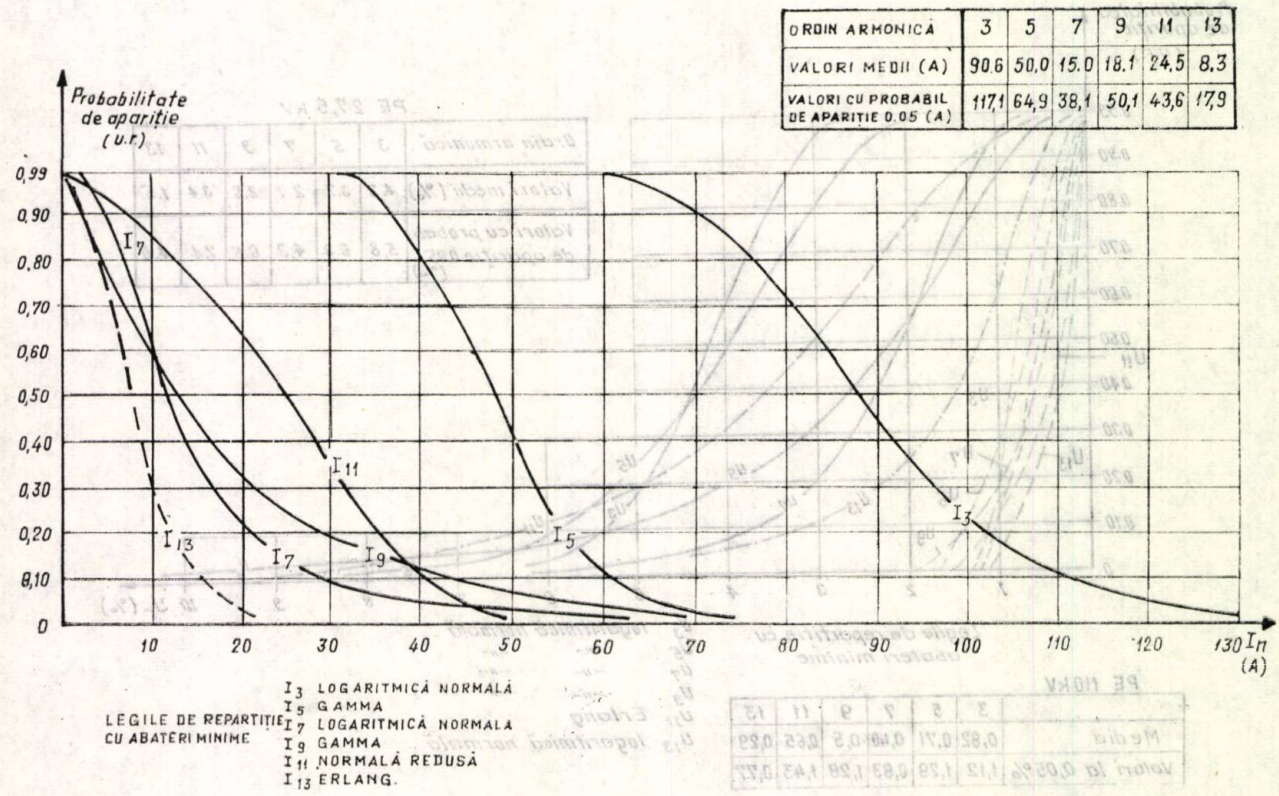


Fig. 6. Probabilitatea de apariție a curenților armonici pe 27,5 kV în stația 110/27,7 kV Chitila.

Tabelul 5

Stația	Valorile	Curenții armonici											
		3		5		7		9		11		13	
		A	I_3/I_n [%]	A	I_5/I_n [%]	A	I_7/I_n [%]	A	I_9/I_n [%]	A	I_{11}/I_n [%]	A	I_{13}/In [%]
Chitila	valoare medie	90,6	25,5	50	13,8	15	4	18,1	5	24,5	6,8	8,3	5
	valoare 0,05	117,1		64,9		38,1		50,5		43,6		17,9	
Ploiești Nord	valoare medie	54,4	18,6	28,2	9,6	10,8	3,7	8,3	2,8	14,5	4,9	4,8	1,6
	valoare 0,05	75,9		43,8		21,6		14,7		30		1,7	
Valea Largă	valoare medie	57,5	17,4	38,3	11,5	13,4	4	11,5	3,4	13,2	4	7,9	2,4
	valoare 0,05	87,8		61,5		22,2		21,6		28,7		13,7	

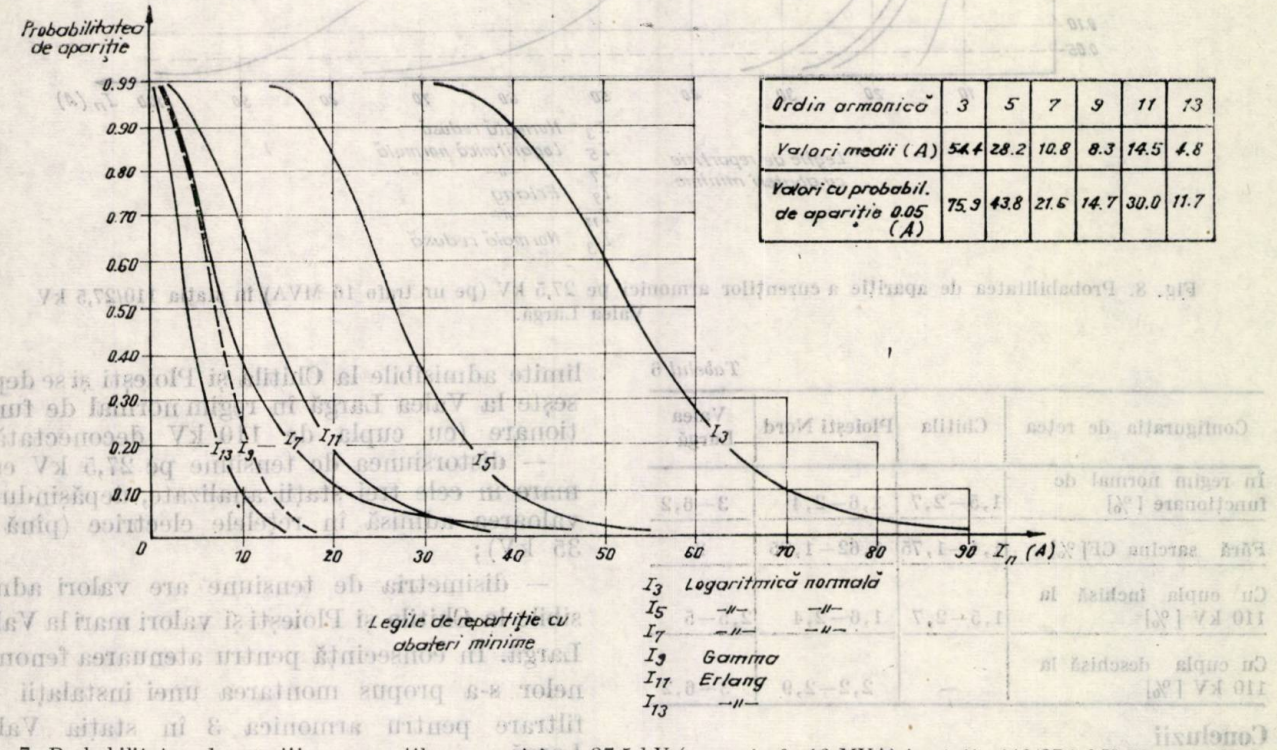


Fig. 7. Probabilitatea de apariție a curenților armonici pe 27,5 kV (pe un trafo 16 MVA) în stația 110/27,5 kV Ploiești Nord.

au, totuși, o dispersie însemnată. Restul curenților armonici au dispersie mare. În figurile 6, 7, 8 sînt prezentate probabilitățile de apariție a curenților armonici din cele trei stații.

În tabelul 5 sînt date valorile curenților armonici.

Se observă că I3 este cuprins între 17,4% și 25% din curentul total, I5 între 9,6% și 13,8%, I7 între 3,7% și 4%, I9 între 2,8% și 5%, I11 între 4% și 6,8%, iar I13 între 1,60% și 5%.

2.5. Nesimetria de tensiune

Alimentarea căii ferate electrificate din două faze ale rețelei trifazate de 110 kV produce o nesimetrie în rețeaua de 110 kV. Această nesimetrie depinde de:

— sarcina monofazată racordată;

— caracteristicile generatorului echivalent al rețelei electrice din nodul respectiv;

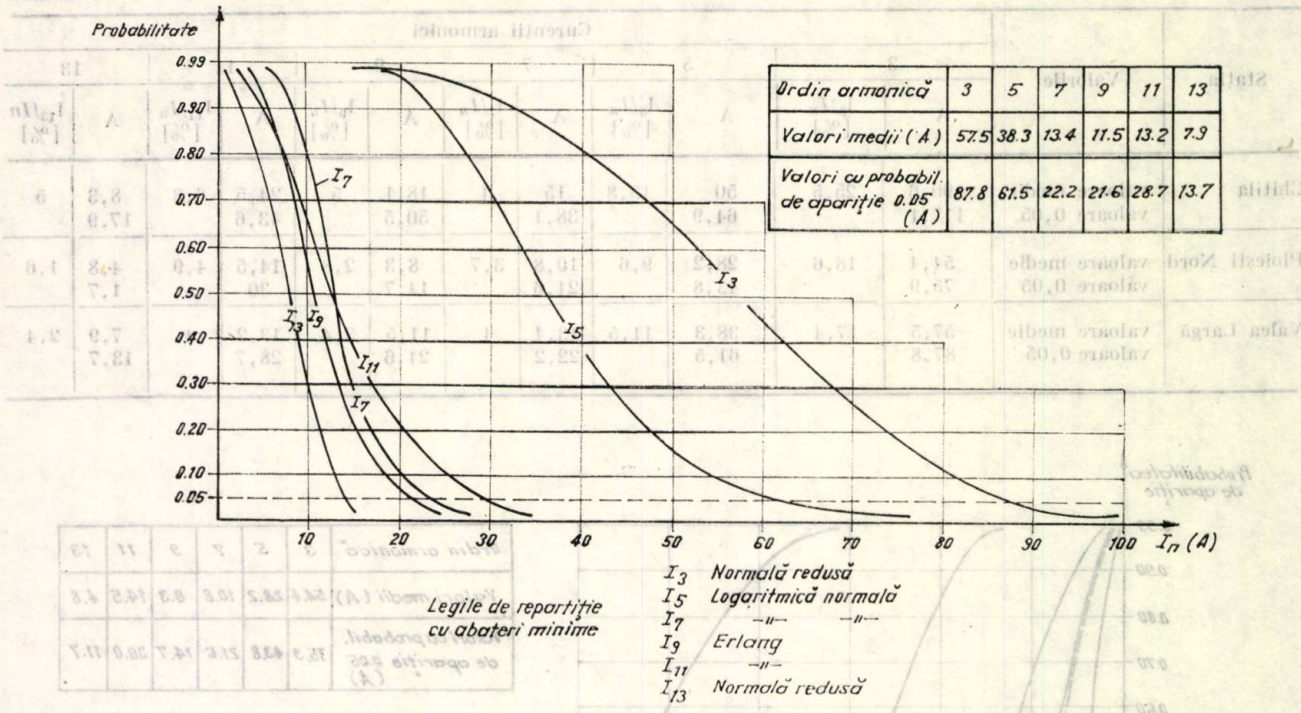
— sarcina trifazată din nodul respectiv;

— starea existentă a generatorului echivalent dinainte de racordul căii ferate;

— fazele între care este racordată calea ferată (R — T sau R — S).

Regimul nesimetric este caracterizat prin coeficientul de disimetrie, definit ca raportul dintre componenta inversă a tensiunii (U_i) și componenta directă a tensiunii (U_d). Valoarea disimetriei la 110 kV nu este normată. Se consideră totuși că un coeficient de disimetrie de 2 — 3% ar fi în limite admisibile în rețeaua de 110 kV.

În tabelul 6 se prezintă rezultatul măsurătorilor privind disimetria de tensiune în cele trei stații în diferite situații.



Ordin armonică	3	5	7	9	11	13
Valori medii (A)	57.5	38.3	13.4	11.5	13.2	7.9
Valori cu probabil. de apariție 0.05 (A)	87.8	61.5	22.2	21.6	28.7	13.7

Fig. 8. Probabilitatea de apariție a curenților armonici pe 27,5 kV (pe un trafo 16 MVA) în stația 110/27,5 kV Valea Largă.

Tabelul 6

Configurația de rețea	Chitila	Ploiești Nord	Valea Largă
În regim normal de funcționare [%]	1,5—2,7	1,6—2,4	3—6,2
Fără sarcina CF[%]	1,4—1,75	1,62—1,75	2
Cu cupla închisă la 110 kV [%]	1,5—2,7	1,6—2,4	2,5—5
Cu cupla deschisă la 110 kV [%]	—	2,2—2,9	3—6,2

Concluzii

Din cele prezentate rezultă:

— distorsiunea de tensiune pe 110 kV este în limite admisibile la Chitila și Ploiești și se depășește la Valea Largă în regim normal de funcționare (cu cupla de 110 kV deconectată);

— distorsiunea de tensiune pe 27,5 kV este mare în cele trei stații analizate, depășindu-se valoarea admisă în rețelele electrice (pînă la 35 kV);

— disimetria de tensiune are valori admisibile la Chitila și Ploiești și valori mari la Valea Largă. În consecință pentru atenuarea fenomenelor s-a propus montarea unei instalații de filtrare pentru armonica 3 în stația Valea Largă.

(Primit la 5 noiembrie 1987, acceptat la 18 februarie 1988)

Efectele acțiunii cîmpului electric generat de instalațiile electrice de înaltă și foarte înaltă tensiune asupra corpului omenesc și concluzii pe plan mondial privind această problemă

Dr. ing. FĂNICĂ VATRĂ, dr. ing. ANDREI CRISTOVICI*

Descriptori : protecția muncii, instalații electrice cu tensiuni foarte înalte

Problema pusă în discuție la începutul anilor '70 a generat numeroase dezbateri, analize și cercetări atît în țara noastră, cît și pe plan mondial. În urma calculelor, analizelor și cercetărilor efectuate de-a lungul anilor, s-a ajuns la concluzia că valorile cele mai ridicate ale cîmpului electric generat de liniile electrice de foarte înaltă tensiune nu sînt periculoase pentru oameni, fiind necesare măsuri mult mai puțin severe decît cele preconizate pînă acum.

În lucrare se prezintă diferitele efecte fizice și biologice ale acțiunii cîmpului electric asupra oamenilor, precum și valorile acceptate ale intensității cîmpului electric pentru linia electrică de 750 kV din țara noastră.

This topics was mooted at the beginning of the 7th decade and it has engendered plenty of debates, analyses and research studies both in our country and worldwide. The computations, analyses and studies undertaken up to now have come to the conclusion that the highest values of the electric field generated by very high voltage electric lines are not dangerous for human beings and that steps less severe than those taken after the first stage of approach should now be implemented.

The report deals with various physical and biological electric field effects on human beins, as well as the commonly agreed values of electric field intensity for the 750 kV electric line in our country.

Considerații generale

Liniile electrice aeriene aflate sub tensiune generează în vecinătatea lor un cîmp electric, care, pentru o configurație geometrică dată a liniei, este direct proporțional cu tensiunea acesteia. Acest cîmp electric induce prin efect capacitiv o tensiune în toate corpurile conductoare aflate în acest cîmp și izolate în raport cu pămîntul.

Prezența în vecinătatea liniilor electrice a unor obiecte și instalații foarte diverse (instalații industriale de toate tipurile, circuite de telecomunicații, conducte, vehicule, garduri și acoperișuri metalice etc.) a condus, de-a lungul anilor, la efectuarea, în întreaga lume, a unor studii aprofundate care să evidențieze în ce măsură cîmpul electric poate să impieteze asupra bunei lor funcționări și să se determine cele mai adecvate măsuri pentru a se evita orice risc.

Mai recent, ca urmare a creșterii tensiunii nominale a rețelelor electrice și a introducerii tehnicilor de lucru sub tensiune, au fost exprimate în întreaga lume o serie de temeri determinate de eventualele efecte fiziologice ale cîmpului electric de joasă frecvență (50 Hz) pentru oamenii care lucrează sau se află în apropierea liniilor electrice aeriene. De asemenea, s-au exprimat temeri referitoare la ozonul și ionii produși de efectul corona pe liniile electrice de înaltă și foarte înaltă tensiune. Toate acestea au condus la intensificarea studiilor și cercetărilor în acest domeniu, mobilizînd de-a lungul anilor tehnicieni, medici și biologi din întreaga lume.

Rezultatele acestor studii și cercetări au fost parțial publicate în literatura de specialitate și au fost dezbătute de diverse organisme internaționale, ca, de exemplu, Conferința Internațională a Marilor Rețele Electrice (CIGRE), Comitetul Consultativ Internațional de Telefoane și Telecomunicații (CICTT), Comitetul Internațional Special de Perturbații Radioelectrice (CISPR), Organizația Mondială a Sănătății (OMS) etc.

Multitudinea materialelor publicate și a cercetărilor efectuate a sensibilizat diferite organisme statale și internaționale, problema fiind analizată și de Consiliul Economic și Social al ONU.

1. Limite admise în diferite țări

Ca urmare a studiilor, cercetărilor și calculelor efectuate au fost elaborate ghiduri de calcul și norme care pun în evidență măsurile și precauțiile ce trebuie luate în cazul prezenței cîmpului electric.

Limitele admisibile ale intensității cîmpului electric la sol au fost stabilite la începutul anilor '70, cînd problema influenței cîmpului electric asupra oamenilor a fost cu pasiune dezbătută în cadrul organismelor internaționale de specialitate și încă nu erau finalizate cercetările medicale referitoare la aceste influențe

* Dr. ing. Fănică Vatră, dr. ing. Andrei Cristovici — Institutul de Studii și Proiectări Energetice, București.

În U.R.S.S. se prevede ca intensitatea cîmpului electric să fie limitată la următoarele valori: 5 kV/m în zonele locuite, 10 kV/m la intersecția drumurilor și a liniilor electrice de înaltă tensiune, 15 kV/m în zonele nelocuite și 20 kV/m în zonele greu accesibile.

În S.U.A. (conform NESC) se admit 13 kV/m în zonele forestiere și inaccesibile, 7,5 kV/m în zonele agricole accesibile marilor vehicule și 2 kV/m la marginea culoarului. Sub liniile electrice de 765 kV ale AEP intensitatea maximă a cîmpului electric este de 10 kV/m.

În Canada se admit 10 kV/m la înălțimea minimă a conductorului de fază și 1 kV/m la limita culoarului de trecere.

În Suedia se admit 11 kV/m ca valoare maximă și 6 kV/m pentru zonele locuite.

În cadrul studiilor elaborate în ISPE s-au efectuat de-a lungul anilor multiple analize și calcule pentru determinarea valorii intensității cîmpului electric generat de liniile electrice, precum și pentru stabilirea măsurilor ce se impun. Aceste calcule și analize s-au referit atît la liniile de 110—750 kV existente în țara noastră, cît și la linii de 1100—1500 kV.

Cu ajutorul unui program de calcul elaborat în ISPE, s-au efectuat calcule parametrice pentru intensitatea cîmpului electric în vecinătatea liniilor electrice, pentru tensiunile induse electric în conductoarele și obiectele conducătoare izolate (treilere, automobile, conducte, garduri etc.), determinîndu-se și curenții în cazul legăturilor la pămînt sau atingerii accidentale de către om a acestora. Aceste calcule au permis stabilirea distanțelor minime la sol a conductoarelor liniilor electrice, a distanțelor de izolare ale conductoarelor de protecție, a culoarului de trecere a LEA, precum și stabilirea de măsuri de protecție. O parte din aceste rezultate au fost publicate în literatura de specialitate.

Ca urmare a analizelor și calculelor efectuate în ISPE, s-au propus următoarele valori admisibile pentru intensitatea cîmpului electric la 1,8 m de sol pentru linia de 750 kV din Dobrogea:

— 12 kV/m pentru zonele agricole, dar necirculate frecvent;

— 10,5 kV/m la traversări de drumuri sau în zone circulate.

Aceste valori ale intensității cîmpului electric conduc la următoarele înălțimi minime ale conductoarelor liniei de 750 kV deasupra pămîntului:

— 13 m pentru zonele necirculate în mod frecvent:

— 15 m la traversări de drumuri.

Diferitele norme internaționale, prezentate mai înainte, privind intensitatea cîmpului electric la limita culoarului de trecere a liniei de 750 kV, conduc la următoarele dimensiuni ale culoarului (distanța pînă la axul liniei): 35 m pentru intensitatea cîmpului electric de 5 kV/m, 50 m pentru 2 kV/m, 60 m pentru 1 kV/m.

2. Efectele fizice ale acțiunii cîmpului electric

Calculele și măsurătorile efectuate au arătat că, într-o primă aproximație, se poate considera o valoare maximă a cîmpului electric la nivelul solului, generat de o linie electrică, de circa 1,2—1,5 kV/m pentru fiecare 100 kV din tensiunea nominală a liniei (tensiunea între faze).

Cînd un obiect conducător este introdus într-un cîmp electric de curent continuu are loc o dispunere a sarcinilor electrice la suprafața acestuia, sub efectul fenomenului de inducție electrostatică. Dacă corpul este izolat sarcinile electrice pozitive migrează spre partea corpului supusă la cîmp negativ, iar sarcinile negative spre partea corpului supusă la cîmp pozitiv, însă bilanțul total al sarcinilor corpului rămîne evident nul.

Pe durata stabilirii unui cîmp electric sau pe durata pătrunderii obiectului în cîmp electric, sarcinile electrice se deplasează progresiv spre suprafața obiectului, ceea ce se traduce printr-un curent electric ce traversează corpul. Dacă cîmpul este constant, acest curent încetează, stabilindu-se o stare de echilibru, cîmpul electric în interiorul obiectului fiind nul (principiul cuștii lui Faraday).

Atunci cînd cîmpul electric aplicat este alternativ, schimbarea periodică a sensului său determină în acest obiect o circulație permanentă a sarcinilor electrice, deoarece la fiecare alternanță sarcinile negative iau locul sarcinilor pozitive și invers. Această circulație a sarcinilor se traduce printr-un curent alternativ în interiorul obiectului. Dacă conductivitatea electrică a obiectului nu este infinită acest curent provoacă o cădere de tensiune și astfel un cîmp electric în interiorul obiectului. Acest cîmp electric este practic nul fiind de ordinul milivolților pe metru și chiar mai mic atunci cînd obiectul conductor se află într-un cîmp electric de ordinul kV/m.

Experiențele au arătat că, percepția, de către oameni, a curenților permanenți de 50 Hz are loc pentru valori de circa 1 mA.

Valoarea curentului maxim admisibil pentru corpul omenesc depinde de durata trecerii acestuia, putîndu-se aproxima printr-o relație de forma:

$$i = k/\sqrt{t},$$

unde k este o constantă determinată empiric, iar t durata trecerii curentului.

În literatura de specialitate se dau următoarele valori pentru curentul maxim admisibil pentru corpul omenesc, pentru o durată nelimitată de timp de acționare a acestui curent, cu probabilitate de 0,5% ca acesta să fie peri-

culos : 9—10 mA pentru bărbaţi, 5—7 mA pentru femei şi 4,5—5 mA pentru copii. La valori mai mari decît acest curent omul nu-şi mai poate controla muşchii. În cazul în care durata de acţionare este de o secundă sau mai mică, se admite un curent de 30 mA.

Ţinînd seama de aceste valori, în S.U.A. (conform NESC) s-a normat un curent maxim admisibil prin corpul omenesc de 5 mA, iar în U.R.S.S. de 4,5 mA. În ţara noastră, conform STAS 2612 se admite o valoare de 10 mA.

Atunci cînd un om este supus acţiunii cîmpului electric, efectele fizice care au loc pot fi analizate în conformitate cu următoarele situaţii practice :

a) Omul plasat în cîmpul electric ambiant

Din calcule şi măsurători s-au determinat următoarele valori pentru curenţii maxim induşi de cîmpul electric în corpul omenesc :

— prin corp circulă circa 15 μA pentru un kV/m cîmp inductor ;

— prin cap circulă circa 5 μA pentru un kV/m cîmp inductor.

Astfel, sub o linie de 400 kV, aceşti curenţi vor fi de circa 80 μA şi respectiv 25 μA, iar sub o linie de 750 kV circa 150—170 μA şi respectiv 50—60 μA [4].

Deci curentul indus în corpul omenesc este foarte slab, se difuzează în tot corpul, astfel încît densitatea locală este neglijabilă (circa 40 $\mu A/cm^2$ pentru un cîmp electric de 10 kV/m [4]).

Comparînd aceste valori cu limitele admisibile prezentate mai înainte, se constată că aceşti curenţi nu sînt periculoşi pentru om.

Atunci cînd intensitatea cîmpului electric depăşeşte 10—12 kV/m, încep să apară unele efecte superficiale de natură electrostatică. Ele se manifestă sub formă de vibraţii ale părului de pe corp şi cap şi sub forma unor mici descărcări electrice între corp şi îmbrăcăminte sau ochelari cu rame metalice. Aceste descărcări nu sînt periculoase pentru om.

b) Omul în contact cu o structură metalică legată la pămînt

Dacă o persoană este slab izolată în raport cu pămîntul, întreg corpul are potenţialul zero, iar contactul cu structura metalică legată la pămînt nu produce nici un efect.

Dacă persoana este izolată în raport cu pămîntul, în momentul atingerii unei structuri metalice legate la pămînt, curentul indus în corpul omenesc va trece prin punctul de contact cu rezistenţă mai mică, adică prin partea corpului în contact direct cu structura metalică. Acest curent este de ordinul de mărime al curenţilor din cazul a) şi nu este periculos pentru om.

c) Omul în contact cu o structură metalică izolată în raport cu pămîntul

Cînd o persoană slab izolată în raport cu pămîntul atinge o structură metalică izolată în raport cu pămîntul, corpul omenesc va fi parcurs de curentul sarcinilor induse de cîmpul electric în această structură. Intensitatea acestui curent depinde de mărimea obiectului conductor considerat, adică de capacitatea obiectului faţă de pămînt.

Calculele şi măsurătorile au arătat că în situaţiile cele mai defavorabile curentul de descărcare este de circa 0,05 mA pentru 1 kV/m pentru un autoturism, circa 0,25 mA pentru un kV/m pentru un camion de două tone şi circa 0,65 mA pentru un kV/m pentru un treiler de 12 m lungime. Astfel curentul poate atinge cîţiva miliamperi pentru un vehicul situat sub o linie de 750 kV [4, 6].

Avîndu-se în vedere limitele admisibile de curent menţionate, precum şi faptul că vehiculele nu sînt perfect izolate în raport cu pămîntul, în cazul unui contact cu un vehicul staţionat în vecinătatea imediată a unei linii de 750 kV, singurul efect este o senzaţie neplăcută provocată de o descărcare electrică la mîna care atinge vehiculul. Evident, legarea la pămînt a vehiculului face să dispară acest efect.

În cazul unei structuri metalice izolate voluminoase, intensitatea curentului poate atinge zeci de miliamperi, iar atingerea ei de către om poate fi periculoasă. De aceea, se recomandă ca obiectele metalice aflate în vecinătatea liniilor electrice de foarte înaltă tensiune să fie legate permanent la pămînt ; pentru obiectele metalice mari punerea la pămînt este o obligaţie în scopul protecţiei oamenilor.

Efectele descrise sînt de natură pur fizică. Intensitatea cîmpului, curenţii induşi, curentul de descărcare sînt perfect cunoscuţi şi pot fi calculaţi fără dificultate.

3. Efectele biologice ale acţiunii cîmpului electric

Pînă în prezent nu s-a stabilit o valoare unică a intensităţii cîmpului electric periculoasă pentru om, deşi s-au efectuat foarte multe experimentări pe animale şi oameni.

Într-o lucrare prezentată în 1972 la CIGRE, specialiştii sovietici arătau că s-au produs anumite tulburări la subiecţii supuşi acţiunii cîmpului electric. Aceste afirmaţii se bazau pe unele cercetări efectuate în U.R.S.S. unde s-a observat, la lucrătorii expuşi la cîmp electric în staţiile de 220—500 kV, o serie de tulburări funcţionale de ordin neurologic, cardiovascular, digestiv şi cîteva influenţe destul de vagi asupra sistemului nervos vegetativ, asupra pulsului şi tensiunii arteriale, precum şi unele modificări în structura sîngelui, recomandîndu-se măsuri de protecţie pentru subiecţii expuşi la cîmp electric şi reducerea duratei lor de expunere.

Ca urmare a acestor cercetări, în U.R.S.S. s-au stabilit valori limită pentru durata de staţionare, pe parcursul a 24 de ore, a persona-

iului în cîmp electric în funcţie de valoarea ıntensităţii acestuia :

0—5 kV/m : nelimitat
5—10 kV/m : 180 minute
10—15 kV/m : 90 minute
15—20 kV/m : 10 minute
20—25 kV/m : 5 minute
peste 25 kV/m : numai cu măsuri speciale de protecţie.

Afirmaţiile specialiştilor sovietici erau în contradicţie cu unele lucrări publicate anterior în S.U.A. şi Europa de Vest, care arătau că expunerea repetată în cîmpuri electrice intense nu a condus la nici o tulburare chimică şi la nici o modificare a numeroaselor criterii parachimice şi biologice studiate.

În discuţiile şi analizele care au urmat, specialiştii din S.U.A., Canada, Italia, Franţa, R.F.G. au arătat că nu s-au observat nici un fel de consecinţe ireversibile la lucrătorii din staţiile de 400—750 kV care au lucrat timp îndelungat în cîmpuri electrice intense, deşi s-au efectuat numeroase cercetări medicale. În plus, analizîndu-se studiile medicale efectuate de specialiştii sovietici, s-a remarcat că nu s-au efectuat comparaţii cu grupe martor (care nu au fost expuse la acţiunea cîmpului electric), unele consecinţe neputînd fi atribuite numai acţiunii cîmpului electric.

În R.F.G. s-au efectuat cercetări asupra unor voluntari care au fost supuşi unor cîmpuri electrice de pînă la 20 kV/m, în Franţa s-au efectuat cercetări complete asupra a două grupe de oameni (una trăind în apropierea liniilor de înaltă tensiune, iar alta în aceleaşi condiţii, dar neexpusă la acţiunea cîmpului electric), în S.U.A., Franţa, Italia, Austria, Spania, România s-au efectuat experienţe pe animale cu cîmpuri electrice foarte intense de pînă la 200 kV/m ; în nici un caz nu s-au constatat modificări demne de semnalat.

În 1973 în S.U.A. s-au publicat rezultatele definitive a nouă ani de cercetări medicale efectuate pe oameni şi animale, iar în 1976 Revue Générale de l'Électricité a publicat un număr special intitulat „*Cercetări asupra efectelor biologice ale cîmpului electric şi magnetic*" care analizează toate rezultatele publicate pînă la acea dată, iar concluzia ambelor materiale a fost că, cel puţin pentru valori ale cîmpului electric existent la liniile şi staţiile de pînă la 800 kV nu apar probleme medicale demne de semnalat.

Multitudinea materialelor publicate şi cercetărilor medicale efectuate au sensibilizat diferite organisme statale şi internaţionale, problema fiind analizată şi de Consiliul Economic şi Social al ONU. Analizele efectuate şi prezentate de acesta [5, 6] au arătat că concluziile medicale ale specialiştilor sovietici nu au fost confirmate de cercetările şi studiile medicale efectuate în alte ţări, iar expunerea unor animale şi bacterii chiar în cîmpuri electrice de pînă la 200 kV/m nu produce schimbări fundamentale, ireversibile.

În orice caz, concluzia formulată de experţii reuniţi sub egida Organizaţiei Mondiale a Sănătăţii (OMS) în 1978 a fost că nivelurile cele mai ridicate ale cîmpului electric creat în vecinătatea liniilor de înaltă şi foarte înaltă tensiune nu sînt periculoase pentru om. Se specifică în mod expres că această concluzie este aplicabilă şi pentru linii cu tensiuni de pînă la 800 kV.

Unele cercetări recente din U.R.S.S., efectuate pe o perioadă de doi ani cu o brigadă care lucra în cîmpuri electrice de 20—30 kV/m, nu au evidenţiat modificări fiziologice. Sub linii de 330—750 kV din U.R.S.S., unde au apărut valori de cîmp de pînă la 15—22 kV/m, nu s-au semnalat plîngeri din zonele populate pe unde trec aceste linii.

În 1980 la sesiunea CIGRE la care au participat specialişti din întreaga lume, deci şi specialişti din U.R.S.S., s-a ajuns la concluzia că pericolele cîmpurilor electrice au fost exagerate.

Rezultatele cercetărilor epidemiologice de lungă durată prezentate de R.F.G. în 1981 au arătat că nu există nici un pericol pentru sănătatea celor care lucrează la liniile electrice aeriene [5].

În 1982, la Congresul de la Bruxelles, Grupul de studii medicale al UNIPEDE a notat în raportul prezentat că împărtăşeşte opinia exprimată de grupa de experţi a OMS în 1978, conform căreia cîmpurile electrice generate de liniile electrice cu tensiuni pînă la 800 kV nu prezintă nici un pericol pentru om.

Dacă în discuţiile purtate în anii precedenţi se manifestau ezitări referitoare la acţiunea reală a cîmpului electric asupra organismelor vii, sesiunea CIGRE din 1982 a scos în evidenţă un larg consens al savanţilor, medicilor, biologilor şi inginerilor în interpretarea rezultatelor experimentale, evidenţiindu-se o concluzie clară, fără nici un dubiu [6]. Concluzia principală reieşită arată că variaţiile observate ale unor parametrii fiziologici rămîn întotdeauna în limitele unor fluctuaţii normale ale acestora (variază de la un individ la altul, iar pentru un acelaşi individ variază în timp) ; ele sînt reversibile şi nu sînt în nici un caz patologice. Acest fapt s-a constatat şi din cercetările efectuate pe animale supuse la intensităţi de cîmp cuprinse între 30 şi 200 kV/m, cîmpuri mult mai intense decît cele întîlnite în vecinătatea instalaţiilor de foarte înaltă tensiune. Modificările fiziologice observate nu sînt specifice numai eventualelor efecte ale cîmpurilor electrice, ci apar şi cu ocazia anumitor stresuri la care sînt supuse animalele.

Remarca fundamentală formulată de biologi specialişti în fiziologia celulară este că densi-

tatea de curenţi generaţi prin inducţie directă a cîmpului asupra unui organism viu (om sau animal) nu produce modificări fiziologice. Diferenţele de potenţial create de aceşti curenţi, de o parte şi de alta a membranei celulelor, sînt de 100 pînă la 1000 ori mai mici decît potenţialul natural generat de procesele fiziologice normale [6].

4. Efectele ionilor şi ozonului generat de efectul corona pe linii de foarte înaltă tensiune

Măsurătorile efectuate la nivelul solului în vecinătatea liniilor de foarte înaltă tensiune de curent alternativ pentru a pune în evidenţă creşterea concentraţiei de ozon şi ioni în aer în raport cu concentraţia naturală, au arătat că aceste creşteri sînt atît de mici că abia pot fi puse în evidenţă cu mijloacele cele mai sensibile şi deci nu sînt periculoase.

* * *

Deci ,la etapa actuală, ţinînd seama de cercetările şi constatările efectuate în intreaga lume, se poate emite o singură concluzie referitoare la acţiunea cîmpului electric generat de liniile electrice şi anume cea enunţată de grupul de experţi reuniţi sub egida OMS, care consideră că nivelurile cele mai ridicate ale cîmpurilor electrice la sol generate de liniile electrice de foarte înaltă tensiune de pînă la 800 kV nu sînt periculoase pentru oameni.

Bibliografie

[1] Vatră, F., Cristovici, A. *Unele probleme ridicate de influenţele electrostatice ale LEA de ultraînaltă tensiune* În: Energetica, 23, 1975, nr. 9—10.

[2] Cristovici, A., Vatră, F.: *Influence électromagnetique des lignes à très haute tension sur l'evironement.* În: Buletinul ISPE nr. 1, 1983.

[3] Popescu, A., Cristovici, A., Necşulescu, D. S., Vatră, F. *Consideraţii privind implicaţiile utilizării liniilor electrice aeriene multiplu circuit.* În: Energetica, 26, 1978, nr. 9, p. 300—311.

[4] * * * *Recherches sur les effets biologiques des champs électriques et magnétiques.* În: RGE, numéro spécial, iulie, 1976.

[5] * * * *Effets des champs électriques des lignes a très haute tension sur l'envirounement.* 28—30 nov. 1984. Document transmis de guvernul RFG pentru Comisia Economică pentru Europa a Consiliului Economic şi Social al ONU.

[6] * * * *Effets des champs électromagnetiques des lignes a très haute tension.* 28—30 nov. 1984. Document transmis de guvernul francez pentru Comisia Economică pentru Europa a Consiliului Economic şi Social al ONU.

Ca materiale bibliografice s-au mai folosit şi următoarele studii ISPE:

[1] * * * *Studiul privind investiţiile necesare ale părţii române în cadrul interconexiunii la 750 kV cu URSS şi RPB (1987)*

[2] * * * *Stabilirea soluţiilor tehnologice pentru introducerea tensiunii de 750 kV în sistemul energetic* 1975.

[3] *. * * *Studiul caracteristicilor electrice ale LEA cu mai multe circuite de tensiuni diferite (110—400 kV)* 1976.

[4] Militaru, P., Vatră, F. *Proiectarea liniilor de 750 kV ţinînd seama de influenţa lor asupra mediului înconjurător.* Sesiunea de comunicări tehhico-ştiinţifice ISPE-ISPH, 6—8 dec., 1984.

(Primit la 26 decembrie 1985, acceptat la 9 august 1987)

NOUTĂŢI

Din energetica mondială

CONSUMUL MONDIAL DE HIDROGEN ÎN ANUL 2030

Conform aprecierilor făcute la conferinţa ştiinţifică care a avut loc în martie 1987 la Stuttgard (R.F.G.) pe tema *„Energetica hidrogenului"* ,în anul 2030 consumul de hidrogen în lume, ca purtător secundar de energie, va fi de ordinul unui miliard de t.c.c., devenind, alături de energia solară, una din sursele principale de energie.

Hidrogenul va fi utilizat în mod prioritar în transporturi şi drept acumulator de energie. Printre avantajele utilizării hidrogenului se numără : este neutru din punct de vedere ecologic, are capacitate calorifică mare, există rezerve mari în natură. În prezent, folosirea hidrogenului este limitată de dificultăţile producerii sale.

Au fost dezbătute căile optime de obţinere a hidrogenului : electroliza apei şi procesul riforming în plasmă. Costul producerii hidrogenului este încă foarte mare, dar acesta poate fi redus, ca urmare a utilizării în echipamentele de producere, a materialelor ceramice rezistente la temperaturi înalte. Calea cea mai economică se consideră a fi electroliza aburului la înaltă temperatură a cărei tehnologie se elaborează în prezent. Pentru transportul hidrogenului s-ar putea utiliza reţeaua pentru gaze naturale existentă în R.F.G.

(După „Referativnii jurnal" 22. Energhetika vol. general nr. 10/1987, poz. 10 .T 20)

A XIV-A CONSFĂTUIRE A TERMOENERGETICIENILOR

Comisia de Termoenergetică din cadrul Consiliului Național al Inginerilor și Tehnicienilor, în colaborare cu Ministerul Energiei Electrice, Institutul de Studii și Proiectări Energetice, Facultatea de Electrotehnică-Energetică din Institutul Politehnic București și Consiliul Popular Județean Brașov — au organizat la Brașov, în perioada 10—12 decembrie 1987, cea de a XIV-a Consfătuire a Termoenergeticienilor din România, cu tema: *„Utilizarea cu maximă eficiență a energiei termice produse de sursele noi și clasice"*. Continuînd tradiția consfătuirilor anterioare, de a aborda și analiza o dată pe an aspectele cele mai importante — actuale și de perspectivă — ale activității termoenergeticienilor din țara noastră, cea de a XIV-a Consfătuire a supus unei ample dezbateri — în lumina sarcinilor care decurg din ultimele documente de partid și de stat — probleme privind găsirea căilor și soluțiilor care să asigure producerea și utilizarea cu eficiență maximă a energiei termice, gospodărirea cît mai rațională a resurselor energetice existente și dezvoltarea de noi surse de energie.

Lucrările Consfătuirii s-au desfășurat atît în plen, cît și în cele trei secții, ale căror tematici au fost următoarele:

Secția I: *Producerea eficientă a energiei termice. Creșterea ponderii cărbunilor inferiori în producerea energiei termice.*

Secția a II-a: *Reducerea consumului de energie în instalațiile termoenergetice industriale și urbane*

Secția a III-a: *Centrale nucleare electrice și surse noi de energie*

În programul Consfătuirii au fost înscrise 200 referate. La Consfătuire au participat reprezentanți ai conducerilor unor ministere și instituții centrale, cadre didactice și studenți din învățămîntul superior de specialitate, ingineri și tehnicieni din institutele de inginerie tehnologică, de cercetare și proiectare, centrale industriale, combinate, centrale electrice și întreprinderi.

Lucrările prezentate în cadrul *secției I* au acoperit o arie largă de preocupări privind calculul, construcția și exploatarea instalațiilor și utilajelor termoenergetice. În domeniul calculului și proiectării instalațiilor, lucrările au prezentat metodologii noi, ținînd seama și de importanța utilizării calculatoarelor. S-a arătat, de asemenea, că odată cu creșterea puterii instalate a blocurilor energetice, a crescut volumul instalațiilor de comandă, impunîndu-se introducerea unei automatizări capabile să realizeze un număr mare de comenzi în condiții de maximă siguranță. În perspectiva perfecționării automatelor programabile, acestea își vor găsi locul în cadrul unui sistem de automatizare complex, specializat pentru domeniul energetic. Pentru orientări de perspectivă, s-a prezentat și o variantă privind utilizarea ciclurilor mixte abur-gaze, cu recuperare și fără ardere suplimentară.

În vederea creșterii fiabilității cazanelor de debite mari de abur funcționînd cu cărbune pulverizat, s-au prezentat cercetările legate de elucidarea mecanismului de eroziune a țevilor schimbătoare de căldură, de determinare a caracteristicilor de abrazivitate a cenușilor cărbunilor din țara noastră și de determinare a influenței factorilor constructivi și funcționali.

S-au tratat, de asemenea, probleme legate de folosirea păcurii viscoase cu conținut ridicat de sulf, pornindu-se de la condițiile preîncălzirii acesteia și scoțîndu-se în evidență necesitatea reducerii coeficientului de exces de aer, precum și necesitatea utilizării aditivilor pentru reducerea coroziunii de joasă temperatură. S-a evidențiat că aditivul oxid de magneziu sub formă solidă este mult mai eficient decît în cazul utilizării lui într-un amestec cu ulei și s-au prezentat cercetările în vederea folosirii acestuia sub formă de pulbere solidă.

Pentru creșterea siguranței în funcționare a centralelor electrice, s-au prezentat și lucrări ce au evidențiat necesitatea verificării și îmbunătățirii calculului conductelor. S-a ridicat și problema verificării depunerilor de săruri la instalațiile de injecție, deoarece s-a remarcat o creștere mare a temperaturii aburului supraîncălzit într-o serie de cazuri pentru situațiile de injecție maximă.

În domeniul perfecționării tehnologiilor de ardere s-au prezentat realizările și perspectivele cazanelor cu ardere în strat fluidizat. Privitor la gospodărirea de cărbune, o lucrare a prezentat o interesantă tehnologie de vehiculare a cărbunilor, cu mașini combinate realizate în țara noastră.

Un grup de lucrări a scos în evidență posibilitatea înlocuirii hidrocarburilor cu gaz de gazogen, pentru cazane de debite reduse. A fost pusă în evidență posibilitatea gazeificării combustibililor solizi din țara noastră, fără aport de abur, prin utilizarea umidității proprii. S-au analizat în continuare posibilitatea arderii gazului de gazogen, precum și modificările ce trebuie aduse mecanismului de calcul și construcției arzătoarelor în cazul schimbării caracteristicilor combustibilului.

În vederea reducerii consumului specific de combustibil, un grup de lucrări s-a referit la creşterea performanţelor turnurilor de răcire, la reducerea pătrunderii aerului în condensator şi la optimizarea debitului de apă de răcire, a umplutură turnurilor şi la reducerea depunerilor din conductele de apă de răcire.

În cadrul *secţiei a II-a* s-au prezentat lucrări din domeniul reducerii consumului de energie din instalaţiile termoenergetice industriale şi urbane. Au fost tratate, în principal, următoarele probleme:

a) recuperarea resurselor energetice secundare (RES), cazuri caracteristice de recuperare a RES de înaltă, medie şi joasă temperatură şi eficienţa lor energo-economică. S-a abordat problema limitelor tehnico-economice de rentabilitate a recuperării, prezentîndu-se concluzii interesante şi utile în practica industrială. De asemenea, s-au prezentat probleme ale modelării proceselor care au loc în recuperatoarele de căldură, utile pentru proiectarea instalaţiilor respective;

b) soluţii de reducere a consumurilor de căldură în procesele industriale, cu exemplificări din domeniile unde ele s-au aplicat şi rezultatele tehnico-economice astfel obţinute. O serie de lucrări au insistat asupra importanţei urmăririi consumurilor specifice de energie pe unitatea de produs, inclusiv stabilirea consumurilor specifice înglobate;

c) aspectele energetice ale transportului lichidelor viscoase prin conducte, cu efectele asupra dimensionării economice a acestora şi asupra menţinerii fluidelor în limitele tehnologice impuse;

d) integrarea RES pentru alimentarea cu căldură a unor localităţi, atunci cînd ele nu şi-au găsit o altă destinaţie în cadrul platformei industriale de unde provin. Au fost prezentate soluţii tehnice de integrare, ca şi rezultatele calculelor tehnico-economice de eficienţă a acestora;

e) alimentarea cu căldură din sistemele de termoficare, cu problematica specifică, determinată de siguranţa alimentării cu căldură a consumatorilor, corelată cu creşterea distanţelor de transport. S-a făcut o serie de comunicări privind combinarea producerii căldurii şi frigului sau relativ la noi soluţii pentru transportul căldurii la mari distanţe, în afara celor clasice actuale, care utilizează ca agent termic apa fierbinte;

f) modelarea unor procese de transfer de căldură în vederea studierii posibilităţilor de îmbunătăţire a dimensionării şi exploatării unor serii de instalaţii consumatoare de căldură, cum ar fi instalaţiile de uscare, instalaţiile de vaporizare şi altele;

g) reducerea consumurilor energetice la instalaţiile de propulsie navale cu implicaţii asupra regimurilor de exploatare şi reparaţii planificate ale acestora;

h) un mare număr de lucrări a pus în evidenţă necesitatea utilizării mijloacelor de calcul moderne pentru prognoza şi urmărirea consumurilor energetice, studiul unor procese complexe de transfer de căldură, determinarea proprietăţilor termodinamice şi de transport pentru o serie de agenţi energetici sau pentru optimizarea regimurilor de dimensionare şi de funcţionare a unor instalaţii complexe.

În urma amplelor discuţii purtate pe marginea lucrărilor prezentate, precum şi în urma abordării unor probleme energetice de larg interes practic sau fundamental de către o serie de participanţi, au rezultat următoarele direcţii prioritare ale cercetării viitoare în acest domeniu:

1) îmbunătăţirea caracteristicilor energetice şi reducerea costului instalaţiilor recuperatoare de căldură prin tipizarea şi realizarea lor modulară;

2) abordarea oricărei probleme de recuperare a RES din punctul de vedere al eficienţei tehnico-economice;

3) utilizarea indicatorului consumului specific de energie atît la proiectarea şi realizarea diverselor instalaţii energo-tehnologice, cît şi, mai ales, în exploatarea curentă;

4) creşterea eficienţei tehnico-economice a soluţiilor actuale de termoficare şi găsirea unor soluţii noi competitive economic şi fiabile;

5) extinderea şi utilizarea cercetărilor fundamentale din domeniul transferului de căldură, pentru îmbunătăţirea actualelor soluţii tehnice aplicate la o mare parte de consumatori industriali;

6) introducerea şi extinderea mijloacelor moderne de calcul pentru proiectarea, realizarea şi urmărirea funcţionării instalaţiilor termoenergetice industriale;

7) creşterea rolului factorului „om" în rezolvarea problemelor energetice, din faza de concepţie, proiectare, realizare şi exploatare, prin creşterea pregătirii sale tehnico-economice specifică domeniului energetic.

Lucrările *secţiei a III-a* au abordat o tematică largă, ce ar putea fi sistematizată în următoarele subdomenii:

a) probleme privind alegerea amplasamentului, construcţia şi punerea în funcţiune a centralelor nucleroelectrice;

b) analize de subsisteme ale centralelor nuclearoelectrice cu implicaţii în problemele securităţii nucleare;

c) modele şi programe de calcul pentru simularea numerică a funcţionării centralelor nuclearoelectrice în regimuri normale şi de avarie;

d) metode de analiză şi indicatori de calcul tehnico-economic pentru centrale nuclearoelectrice şi pentru surse regenerabile;

e) livrarea de căldură de medie şi joasă temperatură din surse nucleare, transportul căldurii la mare distanţă;

f) optimizarea răcirii pentru centrale nucleare şi solaroelectrice;

g) utilizarea căldurii solului şi stocarea energiei termice de origine solară în sol;

h) centrale termoelectrice cu generatoare magnetohidrodinamice;

i) realizări în domeniul folosirii căldurii apelor geotermale;

j) utilizarea energiei solare prin conversie heliotermică;

l) folosirea energiei eoliene pentru pomparea apei sau pentru producerea de căldură.

În comparaţie cu consfătuirile anterioare, lucrările din domeniul centralelor nuclearoelectrice se disting printr-un caracter mai concret şi mai pragmatic, corespunzător stadiului de realizare şi problemelor apărute în decursul construcţiei centralei nuclearoelectrice de la Cernavodă. Se abordează, de asemenea, problemele alegerii amplasamentelor şi soluţiilor tehnice pentru realizarea altor centrale nuclearoelectrice aflate în studiu sau proiectare. Funcţionarea subsistemelor specifice asigurării securităţii nucleare este tratată atît tehnic, cît şi matematic într-un mod realist, ce denotă o mai bună stăpînire a instalaţiilor şi fenomenelor.

O atenţie sporită s-a acordat în această sesiune modernizării şi adaptării metodologiilor şi indicatorilor tehnico-economici la analiza centralelor nuclearoelectrice, a unor noi tehnologii de conversie (centrale termoelectrice cu generator MHD) şi a surselor regenerabile, respectiv a recuperărilor de energie. S-a evidenţiat specificitatea unor aspecte care cer o tratare diferenţiată în raport cu instalaţiile clasice, precum şi dificultatea efectuării unor calcule suficient de convingătoare în condiţiile cînd nu există date de încredere asupra mărimii unor investiţii în tehnologii noi.

Ca şi la consfătuirile din anii precedenţi s-a evidenţiat că energia nucleară poate şi trebuie să fie folosită nu numai pentru acoperirea necesarului de energie electrică, ci şi pentru consumatori de căldură de nivel tehnic mediu şi coborît. S-au analizat implicaţiile acestei opţiuni asupra alegerii amplasamentului viitoarelor centrale nuclearoelectrice de termoficare, asupra schemelor termice ale acestora şi asupra problemelor de transport de căldură la mare distanţă.

Lucrările ce au abordat problemele utilizării surselor noi și regenerabile (energie solară, energie eoliană, căldură geotermală) au avut în această consfătuire un caracter mai puțin teoretic și mult mai aplicativ. Majoritatea lucrărilor au prezentat fie instalații existente și aflate în curs de testare (instalații aflate în stadii avansate de realizare practică), fie proiecte tehnice pe deplin realizabile, pornind de la elemente aflate în fabricație sau în curs de asimilare.

Prin nivelul tehnico-științific ridicat, ca și prin gradul sporit de aplicabilitate al lucrărilor prezentate cea de a XIV-a Consfătuire a Termoenergeticienilor a marcat un real progres pe linia continuității preocupărilor din acest domeniu în țara noastră. Au fost prezentate propuneri concrete, sinteze și rezultate ale unor activități de durată, care au permis identificarea unor importante căi de economisire a combustibililor și energiei. Comunicările făcute au stimulat un schimb rodnic de idei privind metodele și mijloacele de perfecționare a procedeelor și schemelor tehnologice adoptate, recuperarea resurselor energetice secundare, valorificarea optimă a surselor de energie clasice și neconvenționale. Prin contactele directe ce s-au stabilit între participanți, s-a realizat și un eficient schimb de experiență care va contribui la generalizarea propunerilor valoroase rezultate în cadrul consfătuirii.

Consfătuirea a recomandat termoenergeticienilor aplicarea în cadrul unităților economice a propunerilor rezultate din lucrările prezentate și dezbateri, pentru o mai rațională folosire a căldurii și pentru dezvoltarea noilor surse de energie în țara noastră.

Prof. dr. ing. Nicolae Dănilă
Președintele Comisiei de Termoenergetică CNIT

Invenții-inovații

Titlul inovației: **PRAG DE FUND AVAL DE BARAJ PE RÎURI CU PANTE MAI MARI DE 0,80%**

Autori: ing. Trandafir Senofon, ing Drăgan Mihail, teh. Opriș George

Data înregistrării: 28.03.87

Data publicării: 09.10.87

Certificat de inovator nr. 3546 eliberat de Ministerul Energiei Electrice

Titular: Institutul de Studii și Proiectări Hidroenergetice București

Inovația se referă la limitarea fenomenului de recesiune a eroziunilor talegului aval în vecinătatea disipatorului și coborîrea cheii limnimetrice la baraj, în cazul terenurilor cu pante mai mari de 0,80 %, prin realizarea unui prag de fund.

În prezent, la tipurile de baraj unde panta terenului aval este foarte mare se folosesc disipatoare în două sau chiar trei trepte, precum și rizberme mari. Soluția actuală reduce lungimea disipatorului și a rizbermei, realizînd economie de metal, ciment și alte materiale deficitare.

Pragul de fund (fig. 1) constă dintr-un pinten de beton, cu dozaj de ciment de 225 kg/m^3, executat după tehnologia de gel-beton, încastrat circa 50 cm în roca de fundație, cu protecție elastică în amonte și în aval astfel:

— în amonte printr-o umplutură de bolovani de rîu, refuz de stație de sortare, cu granula maximă de 300 mm;

— în aval printr-un pat de cuburi de beton așezat pe o saltea de gabioane.

Radierul aval de prag prezintă o rupere de pantă, de la 1 :7 la 1 : 5, pentru a realiza o stabilitate mai mare a zonei la eroziuni.

Soluția descrisă poate fi utilizată cu eficiență sporită pe canalele de fugă unde panta terenului este mare, la o distanță maximă de 200 — 250 m aval de baraj.

Din punct de vedere tehnic avantajul soluției constă în faptul că realizează stabilizarea fenomenului de eroziune spre baraj, în condiții de siguranță în exploatare la pante mari ale riului.

Soluția tehnică a fost proiectată pentru a fi executată pe șantierele amenajărilor hidroenergetice în cazul riurilor cu pante mai mari de 0,80 %.

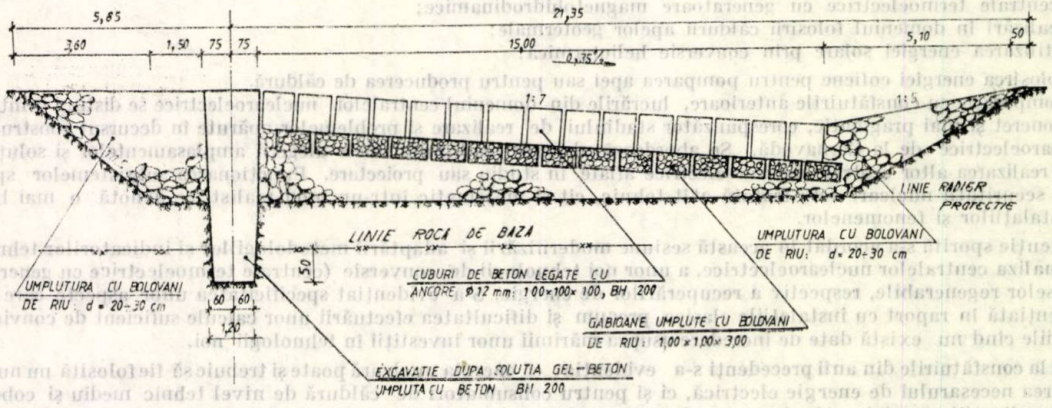


Fig. 1

Titlul inovației : **SUPAPE DE DRENAJ LA DIGURI**

Autori : ing. Trandafir Senofon,ing. Drăgan Mihail, teh. Opriș George

Data înregistrării : 28.03.87

Data publicării : 17.09.87

Certificat de inovator nr. 3493 eliberat de Ministerul Energiei Electrice

Titular : Institutul de Studii și Proiectări Hidroenergetice București

Inovația se referă la o soluție de drenare a apei de sub plăcile de beton la diguri pentru a preîntîmpina împingerea plăcilor în cazul golirii lacului, sau în cazul cînd se coboară cota grinzii de reazem (de racord) a pereului digului sub cota terenului și pînza freatică se găsește deasupra grinzii.

Pînă în prezent nu s-au utilizat astfel de supape ; soluția tehnică adoptată prezintă o siguranță maximă a pereului de beton în cazul coborîrii grinzii sub cota pînzei freatice și favorizează drenarea apei din corpul digului în timpul execuției acestuia.

Supapa (fig. 1) este alcătuită din cinci găuri cu diametrul de 32 mm dispuse în șah, deasupra cărora se așterne un covor din cauciuc cu inserție textilă. Fixarea covorului pe pereu se face cu o ramă metalică prinsă lateral și în partea de sus cu buloane ancorate. Partea inferioară rămîne liberă pentru scurgerea apei din corpul digului.

Tehnologia de execuție este cea obișnuită pentru confecții metalice și lucrări hidroenergetice de suprafață.

Din punct de vedere economic aplicarea inovației conduce la reducerea consumului de ciment și armătură prin faptul că nu mai este necesară repararea plăcilor în urma fenomenului de împingere a acestora și, prin coborîrea cotei grinzii de racord, se reduce adîncimea etanșării în profunzime.

Soluția a fost proiectată pentru a fi executată pe șantierele amenajărilor hidroenergetice la toate tipurile de diguri.

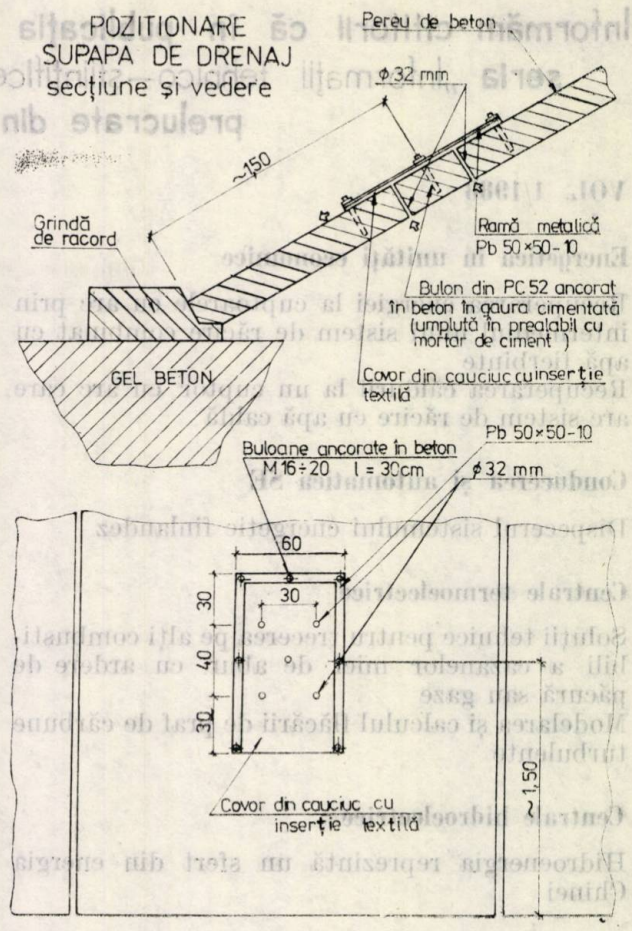


Fig. 1

Din energetica mondială

CORELAȚIA ÎNTRE CREȘTEREA ECONOMICĂ ȘI NECESARUL DE ENERGIE ÎN LUME

În publicația cehoslovacă „*Stud. a mater. econ. usta ȘAV Bratislava*" 1987, nr. 6, p. 64—73, Lakov Krajimir efectuează o analiză a corelației între creșterea economică și necesarul de energie. Se precizează că cei doi indicatori nu pot fi analizați fără a lua în considerare influența lor reciprocă. Corelația între creșterea economiei și necesarul de energie se observă și în dezvoltarea istorică a țărilor socialiste.

În articol se face o evaluare a legăturii istorice între necesarul de energie și ritmurile de creștere în țările capitaliste dezvoltate, pentru o perioadă de 150 ani. Se observa că prezența legăturii directe proporționale între creșterea economică și necesarul de energie nu răspunde cerințelor și condițiilor țărilor dezvoltate industrial.

Analizînd legătura între creșterea economică și necesarul de energie pentru un număr mare de țări și pentru o perioadă lungă de timp se pot trage următoarele concluzii principale :

În primul rînd, legătura existentă slăbește cel mai rapid în țările cele mai dezvoltate și în acest context, coeficientul de regresie variază de la 0,2 la 1 pentru diferite țări, în funcție de nivelul atins al venitului național pe cap de locuitor. În al doilea rînd, la compararea economiei țărilor care se află la aproximativ același nivel de dezvoltare, se stabilesc diferențe substanțiale la indicatorul comun de energie pe cap de locuitor, fapt din care decurge imposibilitatea utilizării de rețete generale.

Analiza corelației dintre creșterea economică și necesaru de energie în țări ca S.U.A., Canada, Franța, R.F.G., Italia, Japonia, Marea Britanie, pentru ultimii ani, atestă faptul că deși necesarul de energie are o importanță excepțională pentru creșterea economică la nivelul actual de dezvoltare a progresului tehnico-științific și al organizării producției, cu toate acestea indicatorul menționat încetează de a mai exercita rolul de stimulator (sau de temporizator) al creșterii. Aceasta înseamnă că s-a ajuns la o astfel de corelație între factorii de producție, încît, în cadrul acesteia, o parte din consumurile energetice este înlocuită prin factorul forță de muncă (creșterea calificării și a îndemînării), prin unele resurse energetice, prin mărirea investițiilor destinate unor echipamente mai eficiente, producătoare sau consumatoare de energie.

Cu toate acestea, înlocuirea consumurilor de energie cu alte consumuri sau cheltuieli de muncă, investiționale, materii prime energetice, poate conduce la scăderea eficienței economice de ansamblu. Se trage concluzia că nu este fundamentată economic transformarea-micșorarea necesarului de energie într-un scop final al unui sistem de producție, în special în cazul în care pentru aceasta este necesară sacrificarea eficienței altor factori de producție sau ai sistemului în ansamblu. Această concluzie este valabilă cu atît mai mult în cazul în care procesul este legat de sacrificii în sfera socială.

(După „Referativni jurnal" 22 Energhetika, vol. general nr. 10/1987, poz. 10I 30)

Informăm cititorii că în publicaţia „ENERGETICA PESTE HOTARE" — seria „Informaţii tehnico—ştiinţifice" au apărut următoarele articole prelucrate din reviste străine:

VOL. 1/1988

Energetica în unităţi economice

Recuperarea energiei la cuptoarele cu arc prin intermediul unui sistem de răcire combinat cu apă fierbinte
Recuperarea căldurii la un cuptor cu arc care are sistem de răcire cu apă caldă

Conducerea şi automatica SE

Dispecerul sistemului energetic finlandez

Centrale termoelectrice

Soluţii tehnice pentru trecerea pe alţi combustibili a cazanelor mici de abur cu ardere de păcură sau gaze
Modelarea şi calculul flăcării de praf de cărbune turbulente

Centrale hidroelectrice

Hidroenergia reprezintă un sfert din energia Chinei

Centrale nucleaeroelectrice

Crearea în S.U.A. a unui nou reactor nuclear perfecţionat de tip LMR, cu o putere de 350 MWe
Lucrătorii din exploatarea centralei Cernobîl hipnotizaţi de „mind-set" (idee fixă)

Surse şi tehnologii noi

Situaţia pe plan mondial a utilizării pompelor de căldură
Sisteme energetice eoliene

Informaţii tehnice

Legăturile telematice

VOL. 2/1988

Orientări în energetică

Sistemul de testare a fiabilităţii propus de IEEE-extinderea conceptelor la evaluarea sistemelor electroenergetice

Dezvoltarea sistemelor energetice

Problemele care pot să survină în cazul unui sistem electroenergetic izolat

Conducerea şi automatica SE

Stabilizarea rezonanţei subsincrone folosind reacţia de curent din sistemul de transport al energiei electrice

Centrale termoelectrice

Funcţionarea economică a cazanelor după trecerea pe alt combustibil
Noutăţi în domeniul instalaţiilor de ardere cu grătar
O tehnologie avansată, rezistentă la uzură, pentru transportul şi dozarea materialului granular sub formă de praf
Cercetarea pornirii cazanelor cu ajutorul prafului de cărbune
Metodă de control magnetic al stării ţevilor suprafeţelor de încălzire ale cazanelor

Centrale hidroelectrice

Estimarea importanţei prezentate de siguranţa în exploatare a barajelor

Centrale nuclearoelectrice

Transportul materialelor cu radioactivitate foarte ridicată în R.F.G. (elemente de combustibil utilizate : plutoniu, uraniu îmbogăţit)
Oamenii de ştiinţă luptă pentru folosirea şi în viitor a energiei nucleare

Reţele electrice

Compararea tehnico-economică a traseelor de cablu

Surse şi tehnologii noi

Generatorul cu viteză variabilă contribuie la îmbunătăţirea eficienţei turbinei

Informaţii tehnice

Publicaţia ENERGETICA PESTE HOTARE — seria Informaţii tehnico-ştiinţifice poate fi consultată la bibliotecile unităţilor d-voastră

JEAN GAYRAUD
1912—1988

La 30 martie 1988 s-a stins din viață inginerul Jean Gayraud, specialist valoros, cu îndelungată activitate în folosul energeticii românești.

S-a născut la 25 august 1912 la Turnu Severin, județul Mehedinți, a urmat școala primară în acest oraș după care, în 1930 a absolvit liceul Spiru Haret.

Studiile superioare, inclusiv doi ani la secția de matematică, le-a urmat la Universitatea din București, obținînd în anul 1938 titlul de inginer electrician.

În prima parte a carierei, între anii 1939—1949 a fost angajat al societății Concordia din Cîmpina, ocupînd funcțiile de șef al Centralei electrice Gura Ocniței și de șef al serviciului de planificare al societății. Activitatea sa a fost marcată prin îmbunătățiri aduse funcționării economice a centralei Gura-Ocniței. Și-a menținut preocupările din domeniul energiei electrice în cadrul Întreprinderii de Electricitate Cîmpina, ca șef al serviciului de rețele electrice și apoi ca șef al serviciului de producție.

În perioada 1954—1974 a avut funcții de control al activității energetice din industrie ca inspector principal în Ministerul Energiei Electrice și apoi ca șef al Inspecției Energetice București.

Pentru meritele sale în participarea la realizarea planului de electrificare a fost distins în anul 1960 cu Ordinul muncii clasa a III-a.

Bogata sa experiență practică a fost materializată prin publicarea în perioada 1964—1980 a patru cărți de specialitate în domeniul utilizării energiei electrice în industrie și agricultură și al creșterii siguranței în funcționare a sistemului energetic.

Întreaga sa activitate caracterizată prin competență, prin corectitudine și prin relații umane exemplare îl așează în rîndul energeticienilor remarcabili din România.

Redacția

СОДЕРЖАНИЕ

ЭНЕРГЕТИКА НА ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

ЕУДЖЕНИУ ПАВЕЛ: Трехфазные неуравновешенные приемники. Характеристики и особенности работы в установившихся режимах (изложение на английском языке) 241—249

ИОАН ФЕЛЕА: Соображения по определению оптимальных режимов работы трансформаторных подстанций для электроснабжения промышленных потребителей в области машиностроения 250—257

АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

АДРИАН РУСУ: Холодная ядерная плавка 258—261

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ

АРИЕ А. АРИЕ, ЛУЧИА ФЕТКУ: Применение метода переходных матриц для исследования вибрации воздушных электропередач 262—267

ГЕОРГЕ КРЕЦУ, МАГДАЛЕНА БОГДАН, МАРИАН ВОЙКУ: Измерения, проведенные на электрических подстанциях 110 кВ (Китила, Плоешть Норд и Валя Ларгэ), питающие элекрифицированную железную дорогу, ввиду выделения влияния искаженного и несимметрического режима 268—274

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА И ТРУДА

ФЭНИКЭ ВАТРЭ, АНДРЕЙ КРИСТОВИЧ: Влияние воздействия электрического поля, генерируемого электроустановками высокого и сверхвысокого напряжения, на человеческое тело и выводы по этому вопросу в мировом плане 275—279

НОВОСТИ

ХРОНИКА

НИКОЛАЕ ДЭНИЛЭ: XIV-ое Совещание термоэнергетиков 280—282

ИЗОБРЕТЕНИЯ — НОВАТОРСТВА 282—283

ИЗ МИРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ 279, 283

INHALTSVERZEICHNIS

DIE ENERGIEWIRTSCHAFT IN INDUSTRIEBETRIEBEN

EUGENIU PAVEL: Unausgeglichene dreiphasige Empfänger. Betriebskennlinien und Besonderheiten in stabilisierten Betriebszutänden (mit einer Vorführung in in englischer Sprache) 241—249

IOAN FELEA: Betrachtungen zur Bestimmung der optimalen Betriebszustände der Transformatorenstationen zur elektrischen Energieversorgung der Verbraucher in der Maschinenbauindustrie 250—257

KERNKRAFTWERKE

ADRIAN RUSU: Die kalte Kernfusion 258—261

ELEKTRISCHE NETZE

ARIE A. ARIE, LUCIA FETCU: Verwendung der Übertragungsmatrix zur Untersuchung der Freileitungsschwingungen 262—267

GHEORGHE CREȚU, MAGDALENA BOGDAN, MARIAN VOICU: Messungen zum Einfluss des deformierenden und nichtsymmetrischen Regimes in den das Eisenbahnnetz speisenden 110 kV Umspannanlagen (Chitila, Ploiești Nord und Valea Largă) 268—274

DIE ORGANISIERUNG DER ARBEIT UND DER PRODUKTION

FĂNICĂ VĂTRĂ, ANDREI CRISTOVICI: Die Auswirkungen des von den Hoch- und Höchstspannungsanlagen erzeugten elektrischen Feldes auf den menschlichen Körper und die diesbezüglichen, in anderen Ländern bestehenden Schlussforgerungen 275—279

NEUIGKEITEN

CHRONIK

NICOLAE DĂNILĂ: Die 14-e Beratung der Fachleute im Bereich der Wärmekraftwerke 280—282

ERFINDUNGEN — NEUERUNGEN 282—283

AUS DER ENERGIEWIRTSCHAFT IN DER WELT 279, 283

SOMMAIRE

L'ÉNERGIE DANS L'ENTREPRISE

EUGENIU PAVEL: Récepteurs triphasés déséquilibrés. Caractéristiques et particularités de fonctionnement en régimes stabilisés (avec résume en anglais) 241—249

IOAN FELEA: Considérations sur l'établissement des états optimums pour le fonctionnement des postes de transformation alimentant en énergie électrique les consommateurs industriels de l'industrie de la construction des machines 250—257

CENTRALES NUCLÉAIRES

ADRIAN RUSU: La fusion nucléaire froide 258—261

RÉSEAUX ET POSTES ÉLECTRIQUES

ARIE A. ARIE, LUCIA FETCU: L'utilisation des matrices de transfert dans l'étude des vibrations des lignes électriques aériennes 262—267

GHEORGHE CREȚU, MAGDALENA BOGDAN, MARIAN VOICU: Mesures exécutées dans les postes électriques de 110 kV (Chitila, Ploiești Nord et Valea Largă) qui alimentent la ligne électrifiée, afin de mettre en évidence l'influence du régime déformant et irrégulier 268—274

ORGANISATION DE LA PRODUCTION ET DU TRAVAIL

FĂNICĂ VATRĂ, ANDREI CRISTOVICI: Les effets de l'action du champ électrique engendré par les installations électriques à haute et très haute tension sur ie corps humain et les conclusions établies sur le plan mondial concernant ce problème 275—279

NOUVEAUTÉS

CHRONIQUE

NICOLAE DĂNILĂ: La XIV-ème Conférence des spécialistes en thermoénergétique 280—282

INVENTIONS—INNOVATIONS 282—283

L'ÉNERGIE DANS LE MONDE 279, 283

CONTENTS

ENERGY IN THE ENTERPRISES

EUGENIU PAVEL: Unbalanced Three-phase Receivers—Operating Features and Peculiarities Under Steady State Regimes 241—249

IOAN FELEA; Considerations About Optimal Operation Regimes Set-up of Transformer Substations for the Power Supply of Industrial Users in the Machines Manufacturing Industry 250—257

NUCLEAR POWER PLANTS

ADRIAN RUSU: Cold Nuclear Fusion 258—261

ELECTRIC NETWORKS

ARIE A.ARIE, LUCIA FETCU: Applying the Transfer Matrices Method at the OH/L's Vibrations Study 262—267

GHEORGHE CREȚU, MAGDALENA BOGDAN, MARIAN VOICU: Measurements Taken in 110 kV Electric Substations (Chitila, Ploiești Nord and Valea Largă) Supplying the Electric Railways, in View of Evincing the Influence of Distorting and Unsymmetrical Regimes 268—274

LABOUR AND PRODUCTION ORGANIZING

FĂNICĂ VATRĂ, ANDREI CRISTOVICI: Effects of HIgh and Very High Voltage Facility Electric Field Action on Human Body and Worldwide Conclusions on this Issue 275—279

NEWS

CHRONICS

NICOLAE DĂNILĂ: The 14-th Session on Thermal Power 280—282

INVENTIONS—INNOVATIONS 282—283

ENERGY WORLDWIDE 279, 283

COLEGIUL DE REDACȚIE

Președinte, redactor responsabil: **dr. ing. Eugeniu Pavel**

Redactori responsabili adjuncți: **dr. ing. Mihai G. M. Pop, dr. ing. Gheorghe Bălan, ing. Radu Opincaru**

Secretar de redacție: **dr. ing. Teodor Popa**

Gestiune financiară: **ec. Pompiliu Silvășanu**

Orientări în energetică: **dr. ing. Mario Duma**

Energetica în unități economice: **ing. Ion Măiereanu, ing. Alexandru Florescu**

Dezvoltarea sistemelor energetice: **dr. ing. Nicolae Armencoiu, dr. ing. George Manolescu**

Conducerea și automatica SE: **dr. ing. Victor Romert, dr. ing. Jean Constantinescu**

Centrale termoelectrice: **conf. dr. ing. Costin Moțoiu, ing. Romeo Zbarcea**

Centrale hidroelectrice: **dr. ing. Gheorghe Luca**

Centrale nuclearoelectrice: **ing. Adrian Georgescu, prof. dr. ing. Nicolae Dănilă, ing. Mircea Tarța**

Rețele electrice: **ing. Dinu Voinea, ing. Nicolae Georgian**

Alimentare cu căldură: **ing. Nicolae Niculescu**

Surse și tehnologii noi: **ing. Constantin Popescu**

Tehnologii chimice în energetică. Poluare: **dr. chim. Maria Maftei**

Organizarea producției și a muncii: **ing. Miron Popescu**

Terminologia energetică: **dr. ing. Iosif Cserveny**

Istoria electrificării: **ing. Paul Cartianu**

Noutăți: **ing. Mihai Nistor, ing. Romulus Sfichi**

Centre universitare și industriale:
București: **conf. dr. ing. Alexandru Selischi**
Iași: **prof. dr. ing. Alexandru Poeată**
Timișoara: **prof. dr. ing. Viorel Negru**
Cluj-Napoca: **conf. dr. ing. Silviu Darie**

Acest număr a fost realizat cu ajutorul următorilor secretari ai grupelor de specialitate:

— **ing. Angela Perea** — Energetica în unități economice
— **ing. Călin Teodorescu** — Centrale nuclearoelectrice
— **dr. ing. Traian-G. Ionescu** — Rețele electrice
— **ec. Gheorghe Băluță** — Organizarea producției și a muncii

Revista „ENERGETICA" este editată și administrată de Institutul de Cercetări și Modernizări Energetice prin Oficiul de Informare Documentară pentru Energetică.
Vasile Pleșca — șef OIDE, **Ana Maria Chivu** — redactor

Revista ENERGETICA — publicație lunară, reflectă preocupările spirituale și realizările materiale în domeniul energeticii. Funcționează în conformitate cu *ROF* aprobat cu Ordinul nr. 97/1987, publicat în numărul 4/87 al revistei. Elaboratorii de lucrări propuse pentru publicare sînt rugați să consulte *„Îndrumările pentru întocmirea și prezentarea lucrărilor propuse pentru a fi publicate în revista Energetica"*, *„Ghidul pentru avizarea lucrărilor propuse pentru a fi publicate în revista Energetica"* apărute în numărul 12/86, precum și *„Planul tematic al revistei Energetica pe anii 1987—1990"* publicat în nr. 5/1987 al revistei.

Instituțiile pot achita abonamentele în contul de virament nr. 30.11.8.01.01 — BN R.S.R. fil. sector 3. Costul unui abonament: 144 lei anual; costul unui exemplar: 12 lei.

41 401

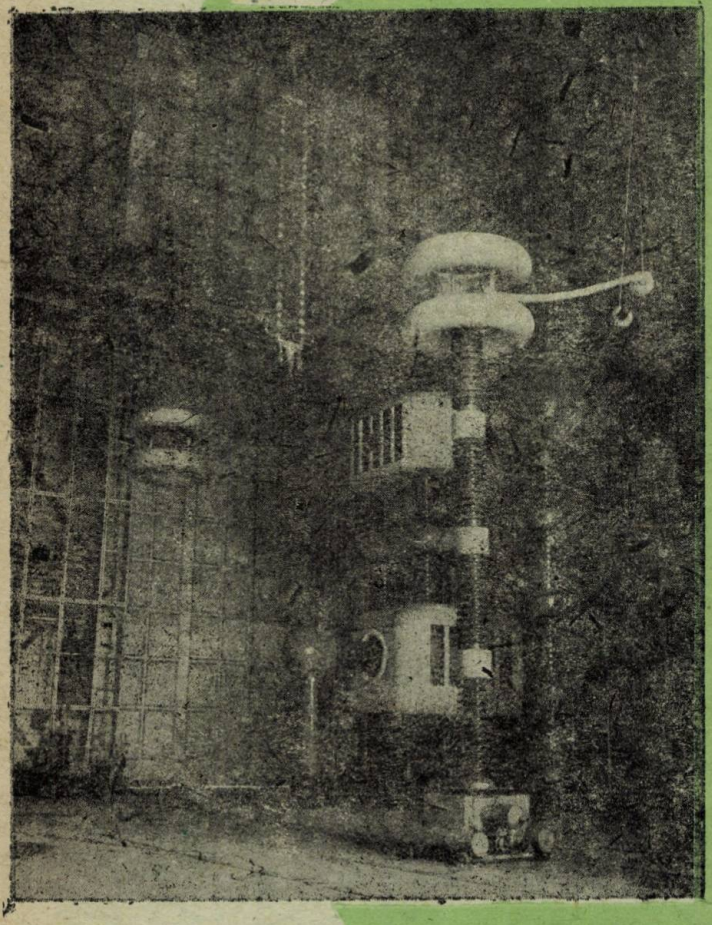
ANNOUNCEMENTS FOR READERS ABROAD

- **The review "Energetica" can send on request from publications abroad reports translated in one of the worldwide spoken languages**
- **The review "Energetica" proposes a publication exchange with similar reviews and in relating fields**
- **The review "Energetica" provides and publishes or introduces books on energy received at the editorial office. Reviews and presentations of books sent on this purpose to the editorial office can be published as well**
- **The review "Energetica" publishes on request from authors abroad reports of energy or other materials: technical and scientific news, inventions-innovations, information about technical and scientific symposia, etc. written in one of the worldwide spoken languages**
- **Readers from abroad can subscribe through: ROMPRESFILATELIA — sectorul import-export, P. O. Box 12—501 telex 10376 prsfir, Calea Griviței nr. 64—66, București — România.**

Redacția și administrația: București 79619, Bd. Energeticienilor nr. 8, sect. 3
Telefon: 20.67.30, 21.46.30

Tiparul: Întreprinderea Poligrafică „Informația", București
str. Brezoianu 23—25 c. 2279

ICEMENERG



Secţia de echipamente şi materiale electroenergetice (SEM) împreună cu Atelierul de service pentru tehnica tensiunilor înalte (ASTTI) în strînsă colaborare cu unităţile din cadrul CIRE execută :

Cercetări privind :

- coordonarea izolaţiei ;
- noi structuri izolante ;
- supratensiunile interne şi atmosferice în reţelele electrice de 10 - 750 kV ;
- tehnologii de mentenanţă şi tratare a izolaţiei în exploatare ;
- realizarea de instalaţii complexe specializate mobile sau fixe privind tratarea, încercarea şi regenerarea izolaţiei sau a echipamentelor de înaltă tensiune din exploatare.

Probe şi măsurători speciale privind :

- încercarea echipamentelor de pînă la 750 kV ;
- verificarea în vederea punerii în funcţiune a instalaţiilor de 750 kV ;
- repararea şi verificarea descărcătoarelor şi a unor treceri izolate ;
- probe şi analize speciale la echipamentele de joasă şi înaltă tensiune în fazele de omologare, recepţie şi comportare în exploatare.

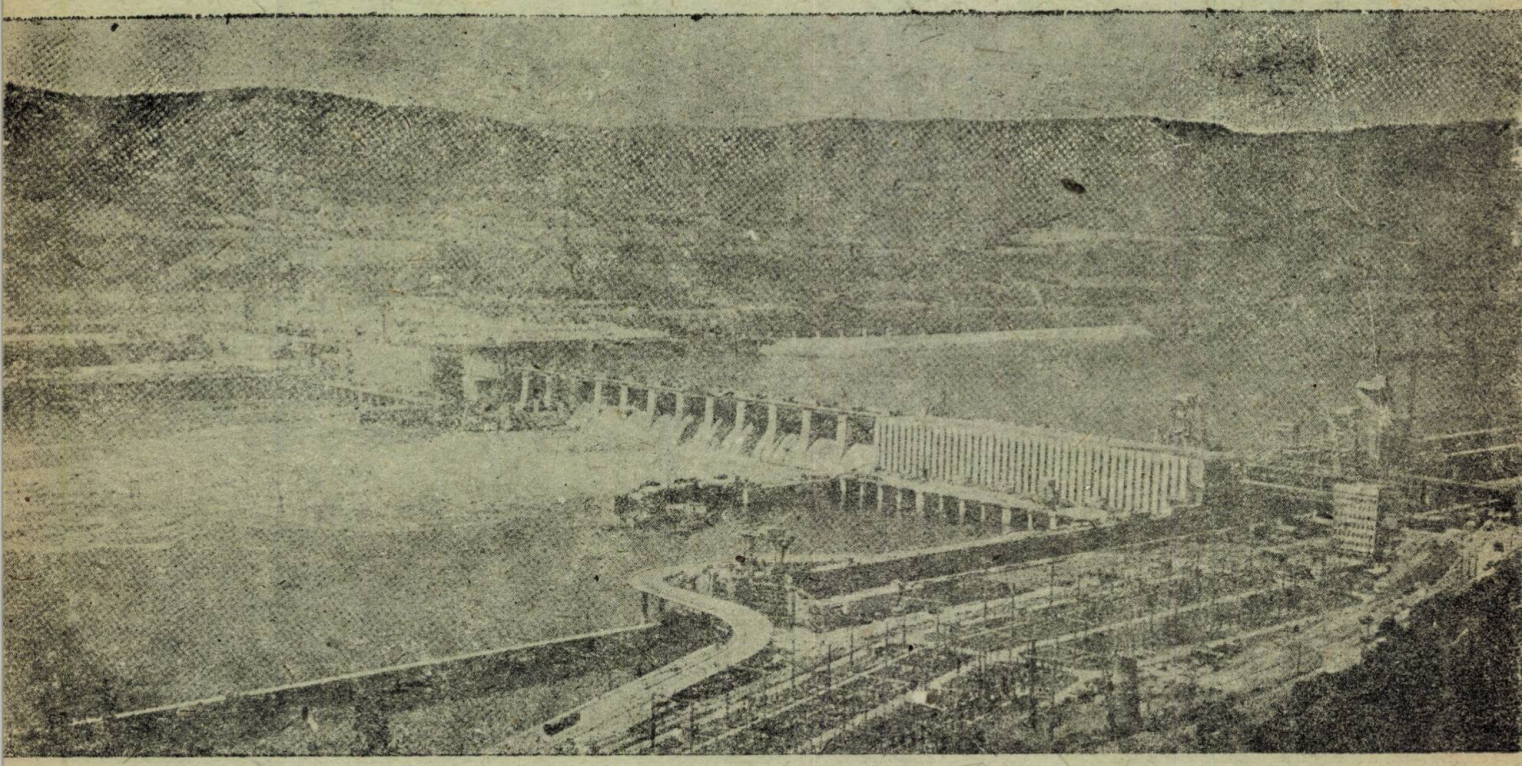
TAGCH

19[illegible] MAI 11

TRUSTUL ANTREPRIZA GENERALA DE CONSTRUCTII HIDROENERGETICE BUCURESTI

CALEA DOROBANTILOR NR. 103-105 TELEFON: 79 64 30
SECTOR 1 COD: 78.072 TELEX: 10244 P

execută în ţară şi în străinătate centrale hidroelectrice şi lucrări hidrotehnice complexe



E 2039 ETG

MW 7

Referálva

R 1989 JAN 0.21

Cuprins

ORIENTĂRI ÎN ENERGETICĂ

LUCIAN LEFTER, GHEORGHE LUCA: **Valorificarea potențialului hidroenergetic** 289

OVIDIU ȚUȚUIANU: **Indicatori privind analiza entropică a organizării proceselor de producție în energetică și alte sisteme industriale** 293

CONDUCEREA ȘI AUTOMATICA SISTEMELOR ENERGETICE

CRISTIAN DĂNUȚ POIANĂ, ALEXANDRU CHITIAN: **Efectele modificării frecvenței rețelei asupra parametrilor nominali ai echipamentelor de filtrare-compensare** 297

CENTRALE TERMOELECTRICE

GEORGE CHERCEA, CRĂIȚA MANGU: **Interdependența dintre caracteristicile cărbunelui, procesul de uscare și măcinare și stabilitatea arderii** 301

ANTON ROȘU, CONSTANTIN BILEGAN, ECATERINA BĂLĂNESCU, GHEORGHE GHEORGHE, VASILE MANEA: **Preîncălzitor de aer cu tuburi termice pentru recuperarea căldurii reziduale a gazelor de ardere evacuate la un cazan CR-9. Rezultate experimentale** 307

CENTRALE HIDROELECTRICE

ROMULUS SFICHI, DORIN BOȘCOIANU, OVIDIU LUNGU: **Echiparea MHC și CHMP utilizînd pompe centrifugale în regim de turbină** 312

MARIA NICOLESCU, LAZĂR LUPESCU, NICOLAE NICOLESCU: **Considerații asupra conductelor privind depunerile aderente din apa de circulație** 316

CENTRALE NUCLEAROELECTRICE

MIHAI POP, ALEXANDRU NEAȚU, SEBASTIAN IONESCU: **Centrul de pregătire CANDU pentru România — Sinteza raportului româno-canadian privind recrutarea, pregătirea și calificarea personalului de exploatare din centralele nuclearoelectrice** 321

REȚELE ELECTRICE

FĂNICĂ VATRĂ: **Aspecte privind funcționarea descărcătoarelor în prezența supratensiunilor de comutație și temporare. Posibilități de reducere a nivelurilor de izolație ale echipamentelor electrice prin utilizarea descărcătoarelor moderne pe bază de oxizi metalici** 324

NOUTĂȚI

CRONICĂ

CONSTANTIN POPESCU: A IV-a consfătuire cu tema „Valorificarea resurselor energetice refolosibile, a surselor neconvenționale și a potențialului microhidroenergetic 331

DIN ENERGETICA MONDIALĂ 323, 332

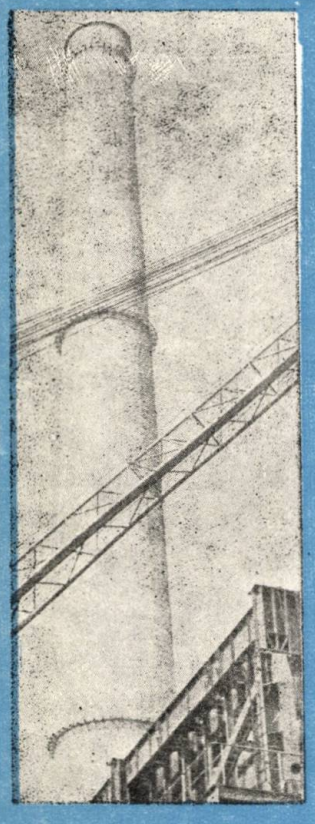
energetica

VOLUMUL XXXVI

BUCUREȘTI

IULIE 1988

TRUSTUL energoconstrucţia

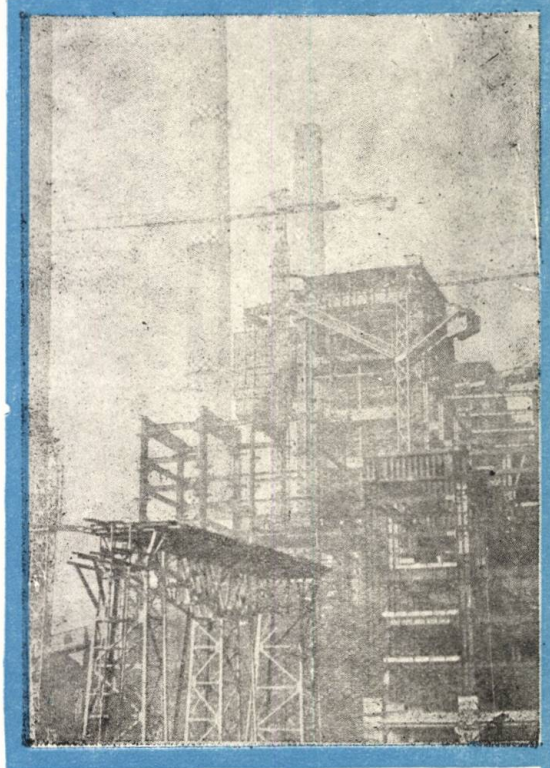


T.A.G. ENERGOCONSTRUCTIA, dispunînd de o dotare tehnică modernă şi de un important efectiv de muncitori de înaltă calificare, tehnicieni şi ingineri, realizează :

LUCRARI DE CONSTRUCTII SI DE INSTALATII aferente termocentralelor electrice şi de termoficare de mare şi foarte mare putere funcţionînd pe cărbune, gaze, păcură, şisturi etc.

LUCRARI DE TEHNICITATE DEOSEBITA CA :

- magistrale şi reţele de termoficare pentru alimentarea marilor centre industriale şi urbane ;
- turnuri de răcire de mare capacitate cu tiraj natural sau forţat (Q = 42.000 mc/h) ;
- coşuri de fum de mare înălţime (H = 280 m) ;
- fundaţii speciale pentru maşini şi utilaje în termocentrale ;
- staţii de transformare de 400, 200 şi 110 kV.



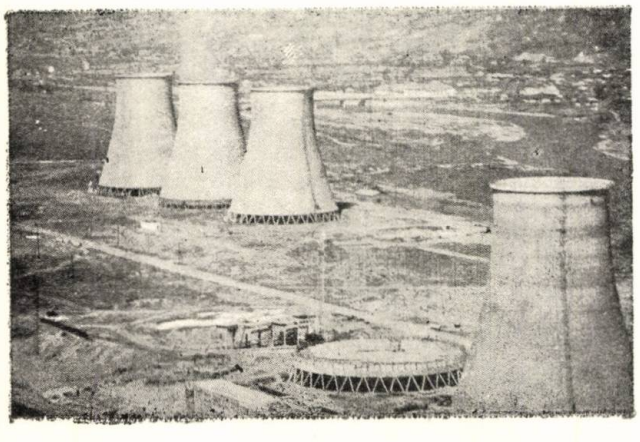
- Lucrări de construcţii şi instalaţii pentru **REPARATII CAPITALE** şi MODERNIZARI la toate obiectele aferente termocentralelor şi reţelelor de termoficare.

★ ★ ★

-LUCRARI HIDROTEHNICE AFERENTE TERMOCENTRALELOR :

- baraje de diferite tipuri, regularizări de rîuri ;
- prize decantoare şi staţii de pompe pentru debite importante ;
- canale şi conducte de apă caldă şi rece în soluţii constructive variate.

★ ★ ★ ★



T.A.G. "ENERGOCONSTRUCTIA" A REALIZAT IN SIRIA TURNURI DE RACIRE SI COSURI DE FUM LA RAFINARIA DIN BANYAS SI LA FABRICA DE CIMENT DIN ALEPPO.

T. A. G. "ENERGOCONSTRUCTIA"
Calea Dorobanţilor nr. 103 - 105
Sector 1 - Bucureşti
Telefon 79.60.20 - telex 10179

ENERGETICA

ORGAN AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE ȘI AL CONSILIULUI NAȚIONAL AL INGINERILOR ȘI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

SUB ÎNDRUMAREA CONSILIULUI ȘTIINȚIFIC AL INSTITUTULUI CENTRAL DE CERCETĂRI ENERGETICE

Anul 36 Nr. 7 Iulie 1988

OBSZÁGOS MŰSZAKI INFORMÁCIÓS SZOLGÁLAT

Orientări în energetică

Valorificarea potențialului hidroenergetic*

Dr. ing. LUCIAN LEFTER, dr. ing. GHEORGHE LUCA**

Descriptori: hidroenergetică, rezerve

CZ: 621.311.21:537.213

Valorificarea potențialului hidroenergetic de care dispune țara noastră a constituit o preocupare deosebită pe linia generală de valorificare maximă a resurselor energetice regenerabile în ultimii 40 de ani. Din prezentarea evoluției acestei valorificări rezultă că din cele peste 40 miliarde kWh/an erau valorificate în 1953 numai circa 0,5 %, pentru ca la nivelul anului 1990 să se ajungă la un grad de valorificare de circa 45 %. Ținînd seama de importantele forțe umane și materiale care contribuie în prezent la valorificarea în continuare a acestui potențial și de menținerea ritmului realizat, sînt premise ca în următoarele decenii să se încheie această valorificare.

The development of the hydropower potential of our country has constituted a special concern within the general trend of a wide development of renewable energy resources in the last 40 years. From the survey of the evolution of this development it results that from about 40 billion kWh/year only about 0.5 % were revaluated by 1953 while this percentage will reach by 1990 about 45 %. Taking into account the important human and material forces which contribute at present to the further development of this potential and the maintaining of this development rate the premises are created that this development should end in the future decades.

1. Situația valorificării potențialului hidroenergetic al R.S. România în anul 1953

Folosirea energiei apelor în scopuri productive prin mori, ferăstrae și altele are în țara noastră o mare vechime. Începuturile și dezvoltarea primelor industrii manufacturiere, ca cea a prelucrării lemnului, a producerii celulozei și hîrtiei, extracția minieră, au fost strîns legate de folosirea apelor.

Utilizarea apelor în scopul producerii energiei electrice începe la sfîrșitul secolului XIX și în primul deceniu al secolului XX prin realizarea centralelor hidroelectrice cu puteri între 200 și 1000 kW la București-Grozăvești pe rîul Dîmbovița (1889), avînd drept scop principal iluminatul public și privat, la Băile Herculane pe rîul Cerna (1892), centralele Topleț pe rîul Bîrza — afluent al Cernei (1893), la Sinaia (1898), centralele Sadu I (1896), Sadu II (1907) în zona Sibiului și centrala Grebla-Reșița (1904), care asigura alimentarea cu energie electrică a industriei metalurgice din zonă.

În perioada dintre cele două războaie mondiale, datorită eforturilor personale ale profesorului doctor docent ing. Dorin Pavel se efectuează o primă evaluare a potențialului hidroenergetic al țării noastre la o valoare de circa 42—44 miliarde kWh/an.

În prima jumătate a acestui secol se continuă realizarea de centrale hidroelectrice într-un ritm relativ lent, ajungîndu-se ca în anul 1950 să existe 146 de centrale hidroelectrice care însumau o putere instalată de 60 MW și aveau o producție medie de energie de 169 milioane kWh/an, ceea ce reprezenta circa 0,4% din potențialul hidroenergetic disponibil. Centrala hidroelectrică Dobrești de pe rîul Ialomița rea-

*Autorii dedică acest articol aniversării a 35 de ani de apariție a revistei Energetica.

** Dr. ing. Lucian Lefter, dr. ing. Gheorghe Luca — Institutul de Studii și Proiectări Hidroenergetice, București.

lizată în 1930 era cea mai mare ca putere instalată, 16 MW.

În toamna anului 1950 (26 octombrie) plenara Comitetului Central al P.C.R. aprobă primul plan de 10 ani de electrificare a țării, a cărui realizare începe odată cu primul plan cincinal de dezvoltare economică a țării noastre (1951—1955). La baza acestui prim plan de electrificare au stat studiile întocmite de către Institutul de Studii și Proiectări Energetice înființat în martie 1949. În cadrul acestui plan de electrificare, valorificării potențialului hidroenergetic i se acordă o atenție deosebită și pe baza studiilor și proiectelor elaborate de sectorul hidro din cadrul ISPE-ului se trece la realizarea unor obiective hidroenergetice importante. Astfel, în anul 1953 se pune în funcțiune centrala hidroelectrică Moroieni de pe rîul Ialomița cu o putere de 15 MW, începută anterior, și se desfășoară execuția centralelor hidroelectrice Crăinicel de pe rîul Bîrzava de 11,8 MW, Aștileu I de pe rîul Crișul Repede (2,8 MW), Sadu V de pe rîul Sadu de lîngă Sibiu (15 MW) și a marii centrale hidroelectrice „V.I. Lenin" — Bicaz de pe rîul Bistrița (210 MW).

La începutul anului 1953, cînd apare primul număr al revistei Energetica, potențialul hidroenergetic al țării noastre, evaluat pe baza primelor studii efectuate de către sectorul hidro din cadrul ISPE-ului, avea o valoare de circa 38 miliarde kWh/an și începuse să fie valorificat într-un ritm relativ accelerat la nivelul posibilităților economice de atunci. Această valorificare se baza pe:

— munca entuziastă a colectivelor de proiectanți și cercetători ai sectoarelor hidro și studii de teren din cadrul ISPE îndrumați de regretații profesori Cristea Mateescu, Dorin Pavel și Radu Prișcu, precum și de profesorul Alexandru Diacon, colective care s-au format și și-au perfecționat pregătirea profesională din mers;

— munca grea și entuziastă a primelor eșaloane de constructori, în principal al celor din cadrul actualelor Trusturi de Antrepriză Generală de Construcții Hidroenergetice și Energomontaj.

Nivelul de valorificare al potențialului hidroenergetic acum 35 de ani a fost de 223 milioane kWh/an, ceea ce reprezenta 0,5%.

2. Etape principale de valorificare a potențialului hidroenergetic

2.1. Etapa 1945—1965

Obiectivele hidroenergetice care s-au realizat și pus în funcțiune în această etapă au fost arătate mai sus; la acestea se adaugă cascada de hidrocentrale de pe rîul Bistrița în aval de centrala „V.I. Lenin", care prin cele 12 hidrocentrale însumează o putere de 244 MW, cu o producție de energie electrică de 750 milioane kWh/an. Prin realizarea acestor obiective în velul de valorificare al potențialului hidroenergetic se ridica la 1005 milioane kWh/an, ceea ce reprezenta 2,4%.

Dacă realizarea hidrocentralelor Moroieni, Crăinicel, Aștileu I și Sadu V a prilejuit efectuarea unor lucrări de mică anvergură, fie subterane, fie la zi, cu execuția barajului de beton în arc de la Negovanul din cadrul UHE-Sadu V care reprezenta o premieră națională în acest domeniu, realizarea UHE „V.I. Lenin" a reprezentat un examen de absolvire a școlii românești de hidrotehnicieni și hidroenergeticieni, atît pentru cercetare și proiectare, cît și pentru execuția de construcții hidrotehnice și montaje de hidrocentrale.

Această amenajare construită în scop complex, cu prioritate hidroenergetică, visul de tinerețe al regretatului profesor D. Leonida, cuprinde barajul de beton de greutate de la Izvorul Muntelui de 127 m înălțime maximă și un volum de beton de 1 625 000 m³, care formează un lac de acumulare cu un volum de 1 230 mil. m³ apă, menit să asigure și apa pentru irigarea a 300 000 ha în Bărăgan.

Pentru producerea de energie electrică, apa din lac este condusă printr-o priză și un tunel în lungime de 4,8 km și 7,15 m diametru interior la o centrală aeriană cu o putere instalată în șase turbine de 210 MW și o producție medie de energie electrică de 392 milioane kWh/an. La cele 12 hidrocentrale realizate în aval, cu căderi tipizate și echipate cu turbine Kaplan, s-au folosit pentru prima dată echipamente de fabricație românească, cu excepția hidrocentralei Roznov I la care s-au folosit grupuri din import disponibile. Deci, realizarea acestei cascade a dat prilejul industriei naționale constructoare de mașini să asimileze fabricarea de echipamente hidroenergetice de tip Kaplan, formîndu-și primele eșaloane de specialiști în domeniul cercetării și proiectării și cel al fabricării. În această perioadă energia electrică era produsă în principal de centrale termoelectrice pe hidrocarburi, centralele hidroelectrice fiind dimensionate pentru a acoperi numai partea de vîrf din graficele de sarcină. Pentru ca acestea să aibă eficiență economică cît mai mare au fost alese acele amplasamente care prezentau indicatorii tehnico-economici cei mai favorabili, respectiv volume de lucrări și costuri cît mai reduse. În acest scop, în această perioadă s-au elaborat numeroase studii hidroenergetice din care a rezultat că 80% din potențialul hidroenergetic al rețelei celor peste 100 000 km de rîuri ale țării, este concentrat numai pe 5 000 km, sectoare care au devenit obiecte de cercetare adîncită.

Mai trebuie subliniat faptul că tot în această perioadă s-au format și primele eșaloane de specialiști în domeniul exploatării hidrocentra-

lelor, care vor constitui și baza viitoarelor cadre de exploatare în acest domeniu.

În sfîrșit, în 1963, ca urmare a perspectivei dezvoltării deosebit de accelerate a amenajărilor hidroenergetice, din fostele sectoare hidro și studii de teren (topo, geo și hidrologice) ale Institutului de Studii și Proiectări Energetice se formează noul institut sub denumirea de Institutul de Studii și Proiectări Hidroenergetice, care s-a dezvoltat continuu, ajungînd astăzi la nivel de institut mare.

2.2. Etapa 1966—1985

În această etapă, deschisă de Congresul al IX-lea al Partidului Comunist Român, se realizează și se pun în funcțiune cele mai importante obiective hidroenergetice din țara noastră, o parte din ele fiind începute în ultimii ani ai perioadei anterioare.

În ansamblu, în această perioadă se pun în funcțiune 70 hidrocentrale însumînd o putere instalată de 3 960 MW și o capacitate medie de producție de energie electrică de 13 500 mil. kWh/an, ceea ce reprezintă circa 32% din potențial. Aceasta a făcut ca în anul 1985 nivelul de producție realizată de energia hidroelectrică să se ridice la 11 900 mil. kWh/an.

Dezvoltarea accelerată a valorificării potențialului hidroenergetic a fost favorizată de adoptarea, în anul 1976, de către Marea Adunare Națională, a Legii nr. 1 prin care s-a aprobat „Programul național de amenajare a bazinelor hidrografice".

Printre obiectivele hidroenergetice realizate menționăm pe cele mai importante :

Pe rîul Argeș s-a executat în zona montană hidrocentrala „Gh. Gheorghiu-Dej", care cuprinde : un baraj (Vidraru) de beton, în arc, de 167 m înălțime maximă, un lac de acumulare cu un volum total de 465 milioane m^3 apă, priza de apă și un tunel de aducțiune de 2 km lungime și 5 m diametru interior, un castel de echilibru, o casă de vane și un puț forțat, centrala subterană, prima din țara noastră, echipată cu patru grupuri Francis cu o putere instalată totală de 220 MW și o producție medie de energie electrică de 406 milioane kWh/an și o galerie de fugă de 11 km lungime și 5 m diametru interior. Schema mai cuprinde și o rețea de galerii de aducțiuni secundare de circa 29 km lungime și 10 captări secundare. În aval de această centrală s-a construit o cascadă de 15 hidrocentrale cu o putere instalată totală de 187 MW și o producție medie de energie electrică de 370 milioane kWh/an, iar în amonte alte două hidrocentrale de putere mică (2×5 MW). Amenajarea rîului Argeș mai satisface și alimentarea cu apă a municipiului București și irigarea unei suprafețe agricole de 100 000 ha.

Pe rîul Lotru s-a construit cea mai mare hidrocentrală de pe rîurile interioare cu cea mai mare cădere 809 m, cuprinzînd : un baraj de anrocamente cu nucleu de argilă de 121 m înălțime, o priză și o galerie de aducțiune de 13,6 km lungime și 5 m diametru interior ; un castel de echilibru, o casă de vane și o galerie forțată, centrala subterană echipată cu trei grupuri Pelton cu o putere instalată totală de 510 MW și o producție medie de energie electrică de 1 100 milioane kWh/an și o galerie de fugă de 6,5 km lungime. Schema mai cuprinde și o vastă rețea de galerii de aducțiuni secundare de circa 150 km lungime și peste 70 de captări secundare care fac ca debitul captat în lac să crească de la 4,3 m^3/s la 18,7 m^3/s, precum și trei stații de pompare.

La ambele amenajări arătate mai sus s-a aplicat pentru prima dată în țara noastră principiul concentrării căderilor și debitelor.

Dintre hidrocentralele realizate pe rîurile interioare mai menționăm : Someș-Mărișelu 220 MW, Sebeș-Gîlceag și Șugag 2×150 MW și cele 13 hidrocentrale în cascadă de pe rîul Olt însumînd 556 MW.

Pe fluviul Dunărea s-a realizat în colaborare cu R.S.F. Iugoslavia Sistemul hidroenergetic și de navigație Porțile de Fier I, a cărui hidrocentrală pentru partea română are o putere instalată de 1 050 MW, echipată cu șase turbine de tip Kaplan și o producție de energie electrică de circa 5 700 milioane kWh/an. Sistemul mai cuprinde un baraj deversor și cîte o ecluză pe fiecare mal.

Dacă în perioada 1945—1965 echipamentul de producere a energiei (hidroagregatele) pentru obiectivele principale hidroenergetice a fost importat (Moroieni, Sadu V, „V.I. Lenin"), pentru restul obiectivelor fiind fabricat în țară (în prima parte prin metode improvizate, iar în ultima parte, pentru cascada de pe rîul Bistrița, fabricat în mod industrial) în această perioadă industria noastră constructoare de mașini a asimilat în principal singură — și pentru echipamente mai deosebite (Porțile de Fier I și II și Lotru) pe bază de licențe — toată gama de echipamente necesare hidrocentralelor, în așa fel încît în prezent importul de hidroagregate este inexistent. Ultima hidrocentrală echipată cu hidroagregate din import (R.S. Cehoslovacă) a fost hidrocentrala „Gh. Gheorghiu-Dej" de pe Argeș, dată în funcțiune în 1966.

În această perioadă s-a urmărit realizarea pe cursul inferior al unor rîuri ca Argeș, Olt, Someș etc. a unor cascade de hidrocentrale cu debite și căderi cît mai apropiate, care să permită fabricarea hidroagregatelor în serii cît mai mari și să conducă la un grad ridicat de tipizare și prefabricare a construcțiilor. Mai adăugăm faptul că în a doua parte a acestei perioade s-a trecut la realizarea de microhidrocentrale și hidrocentrale de mică putere, pe baza folosirii unor echipamente total tipizate. Pe baza studiilor întocmite, potențialul tehnic amenajabil prin acest gen de hidrocentrale s-a evaluat la

circa 1600 MW ca putere instalată și la 3 700 milioane kWh/an ca producție de energie electrică. La nivelul anului 1985 erau realizate 200 microhidrocentrale care însumau o putere de 40 MW și o producție de energie electrică de 100 milioane kWh/an.

Prin această valoare potențialul hidroenergetic al țării se ridică la circa 42 miliarde kWh/an.

2.3. Etapa 1986—1990

În conformitate cu hotărîrile Congresului al XIII-lea al P.C.R. în această etapă se continuă valorificarea intensivă a potențialului hidroenergetic, urmînd a fi date în funcțiune peste 60 de hidrocentrale care însumează o putere de circa 2 500 MW cu o productibilitate de energie electrică de peste 5 miliarde de kWh/an. Marea majoritate a acestor obiective a fost începută în ultima parte a etapei anterioare. În paralel se continuă și programul de realizare de microhidrocentrale și hidrocentrale de mică putere, fiind prevăzute a fi date în funcțiune 987 astfel de obiective, însumînd o putere de 600 MW și o producție de energie electrică de 1 210 milioane kWh/an.

Aceasta va face ca la nivelul anului 1990 capacitatea medie de producție a hidrocentralelor să ajungă la 18,8 miliarde kWh/an, gradul de valorificare a potențialului hidroenergetic ajungînd la circa 45%.

Printre obiectivele hidroenergetice mai importante, care urmează a fi puse în funcțiune, menționăm:

— sistemul hidroenergetic și de navigație Porțile de Fier II, inclusiv hidrocentrala suplimentară și ridicarea suplimentară a cotei de retenție la SHEN Porțile de Fier I, realizate în cooperare cu R.S.F. Iugoslavia, care însumează o putere de 270 MW;

— amenajarea Rîul Mare, atît cea din amonte, care însumează o putere de 349 MW, cît și cascada din aval, care însumează o putere de 134 MW;

—amenajarea Drăgan-Munteni, cu o putere de 59 MW;

— amenajarea Crișul Repede, sector Lugașu-Fughiu, cu o putere de 56 MW;

— amenajarea Sebeș-Săsciori-Petrești, cu o putere de 44 MW;

— amenajarea Bistra-Poiana Mărului-Ruieni-Rîul Alb, cu o putere de 260 MW;

— amenajarea Olt, sectoarele Făgăraș-Avrig și Slatina-Dunăre, cu o putere totală de 336 MW;

— amenajarea Siret-Berești și Călimănești cu o putere totală de 83 MW;

— amenajarea Dîmbovița, Rucăr-Dragoslavele, cu o putere totală de 54 MW;

— amenajarea Buzău, Surduc-Siriu, cu o putere totală de 228 MW.

Mai menționăm faptul că tot în această perioadă urmează să se înceapă un număr mare de obiective hidroenergetice, care se vor pune în funcțiune în deceniul următor.

3. Considerații privind contribuția energeticienilor la valorificarea potențialului hidroenergetic și reflectarea acesteia în cadrul revistei „Energetica"

Așa cum s-a arătat, la sfîrșitul anului 1987 erau în funcțiune 5 080 MW în centrale hidroelectrice cu o capacitate medie de producție de 15 000 milioane kWh/an. Toate aceste hidrocentrale sînt gospodărite de cele 12 întreprinderi electrocentrale din cadrul Centralei Industriale de Producere a Energiei Electrice și Termice. La acestea se adaugă sutele de microhidrocentrale care au fost date în funcțiune în ultimii zece ani în cadrul întreprinderilor de rețele electrice din cadrul Centralei Industriale de Rețele Electrice. Aceste microhidrocentrale însumează 77 MW, cu o producție de energie hidroelectrică de 56 milioane kWh/an. Mai există încă alte sute de microhidrocentrale de puteri mult mai mici care au fost realizate și sînt exploatate de către Consiliile Populare locale și întreprinderi din cadrul altor ministere, în principal în sectorul forestier și silvic.

La valorificarea realizată a potențialului hidroenergetic pe ansamblul țării au participat oamenii muncii din marile unități economice create în domeniul studiilor de teren și proiectării și în unitățile de construcții-montaj. Astfel, în domeniul studiilor de teren și proiectării a fost creat și s-a dezvoltat Institutul de Studii și Proiectări Hidroenergetice. La acestea se mai adaugă colectivele de cercetători și proiectanți din institutele colaboratoare ca subproiectanți.

În domeniul execuției s-au dezvoltat în principal cele două trusturi de execuție: Trustul Antrepriză Generală de Construcții Hidroenergetice, care dispune de 15 antreprize și Trustul Antrepriză Generală Energomontaj, care în prezent aparține altui departament. La acestea se mai adaugă unitățile colaboratoare și în special Trustul Antrepriză Generală Electromontaj, care execută în principal linii electrice și stații de înaltă tensiune și care a preluat și execuția de microhidrocentrale și centrale hidroelectrice de mică putere. Aceste ultime obiective au fost și sînt realizate și de alte unități de execuție din țară. Atît la activitatea de exploatare, cît și la punerea în funcțiune participă și o serie de specialiști (cercetători) din cadrul ICEMENERG.

Conform sarcinilor precizate de Congresul al XIII-lea al P.C.R. activitatea de valorificare a potențialului hidroenergetic va continua într-un ritm susținut cel puțin pînă la nivelul anului 2000.

Desigur că problematica legată de valorificarea potențialului hidroenergetic și-a găsit o

reflectare corespunzătoare în cadrul revistei „Energetica". Astfel, din cele peste 3 000 de articole cîte s-au publicat de la apariția revistei, circa 150 de articole s-au referit la problemele hidroenergetice, ceea ce reprezintă 5%. Față de ponderea energiei hidroelectrice în cadrul producției totale de energie electrică (circa 15%) acest procent pare destul de modest, chiar dacă ținem seama de faptul că o serie de probleme ale hidroenergeticii s-au reflectat și în cadrul revistei „Hidrotehnica", care apare sub îndrumarea Consiliului Național al Apelor.

Față de numărul mare al personalului din exploatare, proiectare, cercetare și execuție este necesar ca preocupările creatoare ale acestora să se reflecte pe viitor în mai mare măsură în cadrul revistei „Energetica".

(Primit la 20 ianuarie 1988, acceptat la 8 aprilie 1988)

Indicatori privind analiza entropică a organizării proceselor de producție în energetică și alte sisteme industriale

Ing. OVIDIU ȚUȚUIANU *

Descriptori: analiză entropică, procese de producție

CZ: 620.9.002.2 : 614.8

Pornind de la modelarea procesului de producție ca sistem cibernetic, lucrarea propune folosirea indicatorilor „abaterea absolută entropică" și „abaterea relativă entropică" la compararea nivelului de organizare sub aspectul securității muncii, pentru diferite sisteme industriale. Se prezintă o aplicație numerică în energetică.

Based on the modelling of a production process considered as a cybernetical system, the report proposes utilisation of the indicators "absolute entropical deviation" and "relative entropical deviation" for comparing the organization standard in point of labour security within different industrial systems. A digital application in field of energetics is set forth.

După cum se cunoaște, procesul de producție reprezintă un ansamblu de acțiuni și activități care au loc în cazul transformării, organizate de om, a obiectelor muncii, cu ajutorul mijloacelor de muncă, în scopul producerii bunurilor materiale sau prestării unor servicii necesare societății.

Între factorii care contribuie la realizarea procesului de producție — forța de muncă (executanții), mijloacele de muncă (uneltele, sculele, dispozitivele, mașinile, instalațiile, mediul ambiant) și obiectele muncii (materiile prime, materialele, semifabricatele, prefabricatele) — se creează legături directe și inverse de condiționare reciprocă, astfel încît acest ansamblu operațional și informațional constituie un sistem cibernetic, a cărui schemă de modelare este arătată în figura 1.

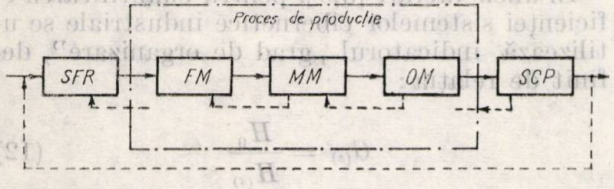


Fig. 1. Procesul de producție modelat ca sistem cibernetic; FM — forța de muncă; MM — mijloacele de muncă; OM — obiectul muncii; SFR — sistem furnizor de resurse; SCP — sistem consumator de produse.

Un astfel de sistem energotehnologic [5] operează între sistemul furnizor de resurse (SFR) și sistemul consumator de produse (SCP), iar funcția sa obiectiv (de eficiență) [1], constă în realizarea unor utilități (produse de un anumit profil) pentru satisfacerea necesităților sistemului consumator respectiv, în prezența restricțiilor de ordin tehnic, economic și social, impuse în special de sistemul furnizor de resurse.

Din punctul de vedere al structurii interne, sistemul cibernetic prezentat este format din trei subsisteme (forța de muncă, mijloacele de muncă și obiectul muncii), legate organic între ele.

Printre principalele restricții impuse proceselor de producție din energetică și din celelalte sisteme industriale, mai ales în condițiile economiei socialiste, minimizarea pînă la excludere a numărului accidentelor de muncă ocupă un loc de seamă.

Din această cauză, optimizarea funcției de eficiență a proceselor de producție nu este posibilă fără o investigare profundă a structurii interne a acestora, în sensul asigurării tuturor măsurilor privind evitarea producerii accidentelor de muncă.

Un instrument eficient de analiză și diagnostic al proceselor de producție din cadrul sistemelor cibernetice industriale, sub aspectul securității muncii, îl oferă metoda „stărilor entropice" [3].

* Ing. Ovidiu Țuțuianu — inspector general la DTSNREMEE.

Metoda utilizează conceptul de „entropie" aplicat la sistemele cibernetice, această mărime redînd tendința sistemelor de a trece din sfera de organizare în sfera de dezorganizare. „Starea entropică", care caracterizează orice sistem cibernetic industrial, reprezintă proprietatea de a conține în interiorul sistemului perturbații ce se opun finalizării scopului acestuia.

La sistemele cibernetice industriale, entropia cunoaște în permanență o tendință de modificare în sensul creșterii. Aceasta este determinată, pe de o parte, de rămînerea în urmă a nivelului de calificare a forței de muncă față de progresul tehnic, iar, pe de altă parte, de creșterea complexității mijloacelor de muncă și a obiectelor muncii, cu consecința logică a creșterii riscurilor de degradare.

Tendința de creștere a entropiei în sistemele industriale trebuie limitată prin măsuri de organizare științifică a producției și a muncii.

În general entropia H, definită drept gradul de nedeterminare a unui sistem, evaluat prin măsurarea cantității de informație realizată în sistemul respectiv, se poate calcula cu relația lui Claude Shannon:

$$H(A_n) = -\sum_{k=1}^{n} P_k \cdot \log P_k, \qquad (1)$$

unde:

A_n este cîmpul finit de probabilități.

$$A_n = (P_1, P_2 \ldots P_n);\ P_k \geqslant 0;\ 1 \leqslant k \leqslant n;$$

$$\sum_{k=1}^{n} P_k = 1. \qquad (2)$$

În cazul analizei accidentelor de muncă intervenite în funcționarea sistemelor cibernetice industriale, cîmpul de evenimente este format din:

— starea de succes (lipsa accidentelor de muncă, respectiv prezența permanentă a forței de muncă la activitatea de producție), considerată drept probabilitate p;

— starea de insucces (accidente care determină întreruperea temporară sau totală a prezenței forței de muncă la activitatea de producție), considerată drept probabilitate:

$$q = 1 - p. \qquad (3)$$

Adoptînd ca bază logaritmică baza 2, relația (1) devine:

$$H(p, 1-p) = -\left[p \cdot \log_2 \frac{1}{p} + (1-p) \log_2 \frac{1}{1-p}\right] \qquad (4)$$

$$\text{sau } H(p, q) = -\left[p \log_2 \frac{1}{p} + q \log_2 \frac{1}{q}\right] \qquad (5)$$

$$\text{unde: } q_{ij} = \frac{T_{ij}}{T_i} \quad (6); \qquad p_{ij} = 1 - q_{ij}, \qquad (7)$$

în care:

T_{ij} este durata de absență a forței de muncă de la procesul de producție;

i — indice asociat subsistemelor;

j — indice asociat cauzelor perturbatoare;

T_i — durata normală de prezență a forței de muncă la procesul de producție.

Pornind de la relația (5) se poate determina entropia fiecărui subsistem component al procesului de producție:

$$H_{(si)} = \sum_{i=1}^{n} \beta_j h_{ij}, \qquad (8)$$

unde: h_{ij} sînt entropiile introduse de fiecare cauză perturbatoare;

β_j — coeficienți de pondere, funcție de importanța cauzelor perturbatoare

$$\sum_{j=1}^{m} \beta_j = 1. \qquad (9)$$

Considerînd fiecare proces de producție drept o reuniune de subsisteme, așa cum s-a arătat în figura 1, entropia totală a acestui sistem va fi:

$$H_{(s)} = H_{s1} + H_{s2} + \ldots H_{sn} =$$

$$= \sum_{j=1}^{r} H_{FMj} + \sum_{j=1}^{s} H_{MMj} + \sum_{j=1}^{t} H_{OMj}, \qquad (10)$$

unde: H_{FM} este entropia subsistemului „forța de muncă";

H_{MM} — entropia subsistemului „mijloacele de muncă";

H_{OM} — entropia subsistemului „obiectul muncii".

Pentru analize de detaliu se mai pot introduce coeficienții de pondere funcție de importanța subsistemului (α_i), astfel că entropia totală a sistemului devine:

$$H_{(s)} = \sum_{i=1}^{n} \alpha_i H_{(si)}. \qquad (11)$$

În unele lucrări [3,5], pentru cuantificarea eficienței sistemelor cibernetice industriale se utilizează indicatorul „grad de organizare", definit de relația:

$$G_{(s)} = \frac{H_0}{H_{(s)}} \qquad (12)$$

unde: $G_{(s)}$ este gradul de organizare a sistemului S,

$$0 \leqslant G_{(s)} \leqslant 1; \qquad (13)$$

H_0 — entropia unui sistem etalon, considerat perfect organizat;

$H_{(s)}$ — entropia sistemului analizat S.

Tabelul 1

Calculul nivelului de organizare a securității muncii în sistemele cibernetice industriale

Mărimea de calcul		Cauze perturbatoare (care au condus la producerea accidentelor de muncă)	Sistemul A					Sistemul B				
			T_{ij}	q_{ij}	p_{ij}	$/h_{ij}$	Σ/h_j	T_{ij}	q_{ij}	p_{ij}	$/h_{ij}$	Σ/h_{ij}
1. Entropia subsistemului FM	1.1	Nerespectarea N.P.M. sau a altor aspecte ale disciplinei de producție	137	0,0110	0,9890	0,092	0,166	160	0,0127	0,9873	0,105	0,133
	1.2	Folosirea de personal fără pregătire profesională corespunzătoare	4	0,0003	0,9997	0,009		—	—	—	—	
	1.3	Lipsa asistenței tehnice la efectuarea lucrărilor periculoase	4	0,0003	0,9997	0,009		—	—	—	—	
	1.4	Manipularea sau manevrarea incorectă a utilajelor și instalațiilor	79	0,0063	0,9937	0,056		28	0,0022	0,9978	0,028	
	1.5	Particularități și deficiențe psihofizice ale personalului	—	—	—	—		—	—	—	—	
2. Entropia subsistemului MM	2.1	Deficiențe de concepție a instalațiilor și proceselor tehnologice	4	0,0003	0,9937	0,009	0,055	4	0,0003	0,9997	0,009	0,065
	2.2	Organizarea necorespunzătoare a locului de muncă	14	0,0011	0,9989	0,018		79	0,0063	0,9937	0,056	
	2.3	Starea tehnică necorespunzătoare a sculelor, dispozitivelor și instalațiilor	28	0,0022	0,9978	0,028		—	—	—	—	
	2.4	Condiții micro-climatice necorespunzătoare	—	—	—	—		4	0,0003	0,9997	0,009	
3. Entropia subsistemului OM	3.1	Materii și materiale de calitate necorespunzătoare	—	—	—	—	0,014	—	—	—	—	0,014
	3.2	Transportul, manipularea sau depozitarea necorespunzătoare a materialelor	7	0,0006	0,9994	0,014		—	—	—	—	
	3.3	Folosirea unor materiale cu potențial de pericol	—	—	—	—		3	0,0002	0,9998	0,005	
Entropia totală a sistemului			$H_A = 0{,}235$					$H_B = 0{,}212$				
Abaterea entropică absolută			$\Delta H_A = 0{,}235$					$\Delta H_B = 0{,}212$				
Abaterea entropică relativă			$\Delta h_{AB} = 0{,}023$					$\Delta h_{BB} = 0$				

Întrucît entropia sistemului etalon H_0 este teoretic egală cu zero, pentru evitarea unor confuzii la utilizarea relației (12) propunem ca la compararea mai multor sisteme cibernetice industriale să se aplice indicatorii „abaterea entropică absolută" (ΔH) și respectiv „abaterea entropică relativă" (Δh) definiți de relațiile :

$$\Delta H_{(s)} = H_{(s)} - H_0, \qquad (14)$$

$$\Delta h_{(snm)} = H_{(sn)} - H_{(sm)}. \qquad (15)$$

Cu cît un sistem cibernetic industrial înregistrează o „abatere entropică absolută" mai ridicată, cu atît se poate spune că are un nivel de organizare mai scăzut.

„Abaterea entropică relativă" permite compararea a două sau mai multe sisteme cibernetice ndustriale și ierarhizarea acestora sub aspectul nivelului organizării, pornind de la sistemul cu starea entropică minimă.

* * *

Pentru exemplificarea aplicării metodei propuse s-au considerat două sisteme cibernetice industriale (două centrale industriale subordonate aceluiași minister), dispunînd de un personal muncitoresc sensibil egal numeric, la care s-au analizat accidentele de muncă la 1000 oameni personal muncitoresc, înregistrate în ultimii 3 ani.

Punînd în evidență cauzele perturbatoare care au condus la producerea accidentelor de muncă [6], s-au calculat pentru fiecare sistem analizat entropiile subsistemelor „forță de muncă" (FM), „mijloace de muncă"(MM) și „obiectul muncii" (OM), precum și entropia totală a sistemului.

Din motive de simplificare, în exemplul dat s-au neglijat coeficienții de pondere α_i și β_j. De asemenea, s-a considerat $H_0 = 0$.

Rezultatele calculelor, bazate pe aplicarea în ordine a relațiilor (6), (7), (5), (8), (10), (14) și (15), sînt prezentate în tabelul 1.

Concluzii

1. Din datele prezentate în tabelul 1 rezultă că sistemul B, avînd o entropie totală și respectiv o abatere entropică relativă mai reduse decît sistemul A, dispune de un nivel de organizare mai ridicat. Analiza contribuției fiecărui subsistem la creșterea entropiei totale a sistemelor considerate arată că, în condițiile în care entropiile introduse de subsistemul „OM" au aceleași valori în ambele sisteme, valoarea mai ridicată a entropiei subsistemului „FM", din cadrul sistemului A, determină ca, pe ansamblu, acesta să înregistreze o entropie totală mai mare și, în consecință, un nivel de organizare inferior sistemului B.

Din cifrele prezentate se evidențiază faptul că principala cauză perturbatoare, cu pondere hotărîtoare în valoarea entropiei totale a ambelor sisteme, o reprezintă nerespectarea NPM sau a altor aspecte ale disciplinei de producție.

2. Metodologia propusă pentru analiza nivelului de organizare a securității muncii în sistemele cibernetice industriale este simplă, iar calculele se pot efectua rapid ,mai ales în cazul folosirii unor programe pentru calculatoare electronice.

Ea contribuie, pe baza analizei entropice a proceselor de producție, în maniera „cercetării operaționale" [1], la localizarea domeniilor (pe subsisteme) și a cauzelor perturbatoare care au condus la producerea accidentelor de muncă permițînd factorilor de decizie să stabilească, în consecință, măsuri tehnice și organizatorice de profilaxie.

Pentru cuantificarea mai obiectivă a contribuției fiecărei cauze perturbatoare la creșterea entropiei organizatorice a fiecărui sistem analizat, se pot defalca accidentele de muncă pe categorii de gravitate (mortale, cu invaliditate și respectiv cu capacitate temporară de muncă) și se pot atribui coeficienți de pondere pe fiecare categorie.

Cu ajutorul criteriilor propuse se pot efectua comparații între două sau mai multe sisteme cibernetice industriale (cu același profil sau chiar cu profile diferite, centrale industriale, ministere etc.), în ceea ce privește nivelul de organizare a activității de protecția muncii și se pot stabili elemente de fundamentare a proceselor decizionale [2] la diverse niveluri, pe parcursul tuturor etapelor ingineriei sistemelor (prevedere, planificare, proiectare, realizare, funcționare, înlocuire) [4].

Considerăm că astfel de criterii, perfecționate și adaptate la concepția generală a securității nucleare, pot servi în mod eficient la organizarea proceselor de producție și în energetica nucleară.

Bibliografie

[1] Ackoff, R.L. și Sasieni, M.N. *Bazele cercetării operaționale*. Editura tehnică, București, 1975.

[2] Boldur, G. *Fundamentarea complexă a procesului decizional*. Editura științifică, București, 1973.

3] Bîrlea, St. *Inițiere în cibernetica sistemelor industriale*. Editura tehnică, București, 1975.

[4] Crișan, Ov. *Optimizări decizionale în sistemele electroenergetice*. Editura Facla, Timișoara, 1975.

[5] Țuțuianu, Ov. *Aspecte actuale privind eficiența sistemelor energotehnologice*. În: Energetica, nr. 8, 1977, p. 279–283.

[6] * * * Ministerul Muncii — Inspecția de stat pentru protecția muncii — *Instrucțiuni de utilizare a formularelor tipizate pe economie în activitatea de protecția muncii*.

(Primit la 26 martie 1986, acceptat la 11 martie 1988)

Efectele modificării frecvenței rețelei asupra parametrilor nominali ai echipamentelor de filtrare-compensare

Dr. ing. CRISTIAN DĂNUȚ POIANĂ, ing. ALEXANDRU CHITIAN*

Descriptori: compensare, filtrare de armonici, frecvență

CZ: 621.316.1 :631.3.018.14

Dimensionarea instalațiilor specializate pentru îmbunătățirea factorului de putere și filtrarea armonicilor se face luînd în considerare frecvența fundamentalei rețelei de distribuție.

Dacă această frecvență variază, în funcție de sensul de variație filtrul de armonici se comportă inductiv sau capacitiv, contribuind la înrăutățirea regimului deformant sau la reducerea eficienței filtrării armonicilor.

În lucrarea de față se prezintă modul de variație a acordului corelat cu variația frecvenței rețelei.

The dimensioning of the specific equipment in order to improve its power factor and to filter the harmonic waves is performed considering the distribution network fundamental frequency.

If this frequency varies, depending on the variation direction, the harmonics filter behaves inductively or capacitively, contributing to the worsening of the power system distortion or to the decrease of the harmonics filtering efficiency.

This paper presents the variation of the correlated tuning with the network frequency variation.

Introducere

Din practica exploatării echipamentelor de filtrare-compensare a reieșit necesitatea acordării unei atenții deosebite, în faza de dimensionare, unor mărimi electrice în aparență mai puțin importante.

Apariția unor avarii la cîteva echipamente aflate în exploatare, provocate de scăderea valorii nominale a frecvenței fundamentalei sau creșterea tensiunii de alimentare în sistemul energetic național, a tras un semnal de alarmă în special pentru proiectanții de astfel de echipamente energetice.

Pe baza unui studiu amănunțit s-a ajuns la necesitatea aprecierii corecte a frecvenței de lucru a echipamentelor, realizarea acordului circuitelor de filtrare absorbante făcîndu-se nu pentru frecvența teoretică de 50 Hz, ci pentru cea reală, cu cea mai mare probabilitate de a se păstra pe termen lung**.

Pornind de la studiul comportării circuitului RLC serie la diferite frecvențe, s-a analizat comportarea ansamblului filtru-sistem din punct de vedere electric.

1. Comportarea electrică a filtrului absorbant

Schema electrică a unui filtru absorbant destinat unei anumite armonici de rang „k" este reprezentată de circuitul rezonant serie RLC acordat pe frecvența $k \cdot f_0$, unde f_0 este frecvența fundamentală, iar U este tensiunea nominală de alimentare (fig. 1).

Impedanța complexă a circuitului, Z, este dată de relația:

$$\underline{Z} = \frac{\underline{U}}{\underline{I}} = R + \mathrm{j}k\omega_0 L - \mathrm{j}\frac{1}{k\omega_0 C}, \qquad (1)$$

unde:

$$\omega_0 = 2\pi f_0.$$

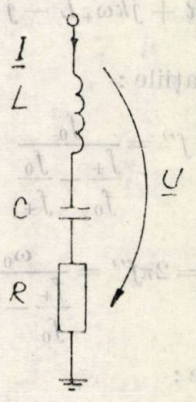


Fig. 1. Schema electrică a unui filtru absorbant pentru armonica de ordinul k.

În cazul acordului pe frecvența f_0, avînd îndeplinită condiția de rezonanță conform relației:

$$k^2\omega^2 LC = 1$$

impedanța circuitului devine:

$$\underline{Z} = R. \qquad (2)$$

* Dr. ing. Cristian Dănuț Poiană, ing. Alexandru Chitian-Institutul de Cercetare Științifică și Inginerie Tehnologică pentru Electrotehnică, București.

** Chitian, Al., Poiană, C. D. ș.a. *Soluții moderne de eliminare a regimului deformant concomitent cu compensarea factorului de putere.* Sesiunea de comunicări științifice TEHNIC 2000, Timișoara, 1986.

În cazul funcționării în condițiile abaterii frecvenței fundamentalei cu $\pm \Delta f$, circuitul își modifică impedanța în felul următor:

a) Impedanța circuitului absorbant în cazul scăderii frecvenței fundamentalei:

$$f_- = f_0 - \Delta f. \tag{3}$$

Relația (1) devine:

$$\underline{Z} = \frac{\underline{U}}{\underline{I}} = R + jk\omega_- L - j\,\frac{1}{k\omega_- C}, \tag{4}$$

sau folosind notațiile:

$$f' = \frac{f_0}{\frac{f_0}{f_-} - \frac{f_-}{f_0}}, \tag{5}$$

$$\omega' = 2\pi f' = \frac{\omega_0}{\frac{f_0}{f_-} - \frac{f_-}{f_0}}, \tag{6}$$

relația (4) devine:

$$\underline{Z} = R - j\,\frac{1}{k\omega' C}. \tag{7}$$

Deoarece $f_-/f_0 < 1$, rezultă din (5) că impedanța $\underline{Z}$ are un caracter capacitiv.

b) Impedanța circuitului absorbant în cazul creșterii frecvenței fundamentalei:

$$f_+ = f_0 + \Delta f. \tag{8}$$

Relația (1) devine:

$$\underline{Z} = \frac{\underline{U}}{\underline{I}} = R + jk\omega_+ L - j\,\frac{1}{k\omega_+ C}, \tag{9}$$

sau folosind notațiile:

$$f'' = \frac{f_0}{\frac{f_+}{f_0} - \frac{f_0}{f_+}} \tag{10}$$

$$\omega'' = 2\pi f'' = \frac{\omega_0}{\frac{f_+}{f_0} - \frac{f_0}{f_+}} \tag{11}$$

relația (9) devine:

$$\underline{Z} = R + j\,\frac{1}{k\omega'' C}. \tag{12}$$

Deoarece $f_+/f_0 > 1$, rezultă din (10) că impedanța are un caracter inductiv.

În cazul abaterii tensiunii de la valoarea nominală, componenta curentului de frecvență fundamentală din circuitul de filtrare se modifică proporțional cu tensiunea, putînd da naștere la suprasolicitarea componentelor circuitului în cazul creșterii tensiunii rețelei și la diminuarea puterii reactive utile furnizate de filtre în cazul scăderii tensiunii rețelei.

2. Comportarea electrică a ansamblului filtru-sistem

2.1. Circulația curenților armonici

Echipamentul de filtrare-compensare racordat pe bara de alimentare a consumatorului generator de curenți armonici, formează împreună cu sistemul un ansamblu electric echivalent cu un circuit paralel, reprezentat schematic în figura 2.

Creșterea tensiunii pe ansamblul respectiv conduce la modificarea direct proporțională a curenților din ramurile paralele, ceea ce implică

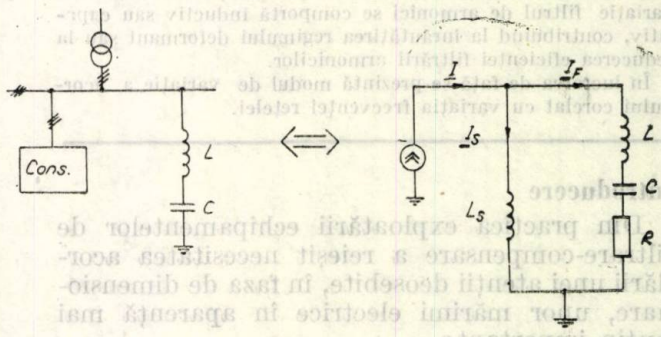


Fig. 2. Schema electrică a ansamblului filtru-sistem.

pierderi suplimentare de energie în sistem și mărirea probabilității de avariere.

Cunoscînd $X_s = \dfrac{1{,}1 \cdot U_n^2}{S_{sc}} = \omega_0 L_s$ reactanța inductivă a sistemului și notînd $Z_e = f(\omega)$ impedanța filtrului în funcție de frecvența de lucru, se poate considera circuitul echivalent prezentat în figura 3.

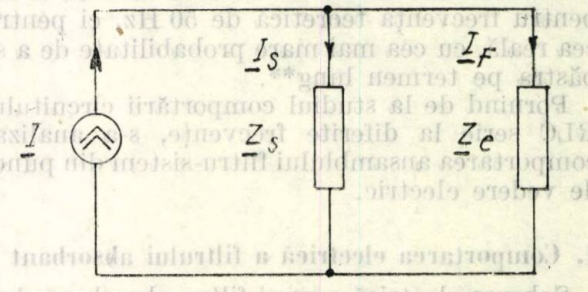


Fig. 3. Circuitul echivalent pentru ansamblul filtru-sistem.

Pentru schema prezentată în figura 3, circulația curenților armonici este descrisă de sistemul de ecuații:

$$\underline{I_F} = \underline{I} \cdot \frac{\underline{Z_S}}{\underline{Z_S} + \underline{Z_e}}, \tag{13}$$

$$\underline{I_S} = \underline{I} \cdot \frac{\underline{Z_e}}{\underline{Z_S} + \underline{Z_e}}. \tag{14}$$

2.2. Comportarea ansamblului filtru-sistem la diferite frecvențe

Curenții armonici generați se distribuie prin ramurile circuitului în raport cu caracterul impedanței fiecărei laturi.

În raport cu frecvența reală de funcționare, comportarea ansamblului filtru-sistem este foarte diferită.

a) Distribuția curenților la frecvența f_0

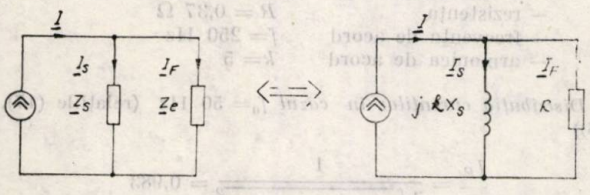


Fig. 4. Comportarea circuitului la frecvența f_0.

Pentru schema echivalentă din figura 4, relațiile (13) și (14) devin :

$$\begin{cases} \underline{I}_F = \underline{I}\dfrac{1}{1-j\dfrac{R}{X_S\cdot k}} & (15) \\ \underline{I}_S = \underline{I}\dfrac{1}{1+j\dfrac{X_S\cdot k}{R}} & (16) \end{cases}$$

$$I_F = I\frac{1}{\sqrt{1+\left(\dfrac{R}{k\cdot X_S}\right)^2}}, \qquad (17)$$

$$I_S = I\frac{\dfrac{R}{k\cdot X_S}}{\sqrt{1+\left(\dfrac{R}{k\cdot X_S}\right)^2}}. \qquad (18)$$

b) Distribuția curenților la frecvența f_-

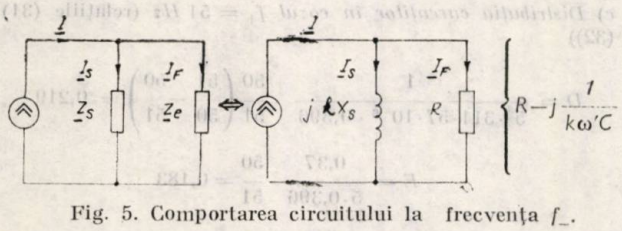


Fig. 5. Comportarea circuitului la frecvența f_-.

Pentru schema echivalentă din figura 5, relațiile (13) și (14) devin :

$$\underline{I}_F = \underline{I}\frac{jX'_S\cdot k}{R-j\dfrac{1}{k\omega' C}+jX'_S\cdot k} = \underline{I}\frac{1}{1-A-jB}, \qquad (19)$$

$$\underline{I}_S = \underline{I}\frac{R-j\dfrac{1}{k\omega' C}}{R-j\dfrac{1}{k\omega' C}+jX'_S\cdot k} = \underline{I}\frac{1}{1-\dfrac{1}{A+jB}}, \qquad (20)$$

$$A = \frac{1}{k^2\omega_0 C X_S}\cdot\frac{f_0}{f_-}\cdot\left(\frac{f_0}{f_-}-\frac{f_-}{f_0}\right), \qquad (21)$$

$$B = \frac{f_0}{f_-}\cdot\frac{R}{k\cdot X_S}, \qquad (22)$$

$$X'_S = \frac{f_-}{f_0}X_S. \qquad (23)$$

Valorile absolute ale mărimilor calculate sînt :

$$\begin{cases} I_F = I\dfrac{1}{\sqrt{(1-A)^2+B^2}} & (24) \\ I_S = I\sqrt{\dfrac{A^2+B^2}{(1-A)^2+B^2}} & (25) \end{cases}$$

c) Distribuția curenților la frecvența f_+

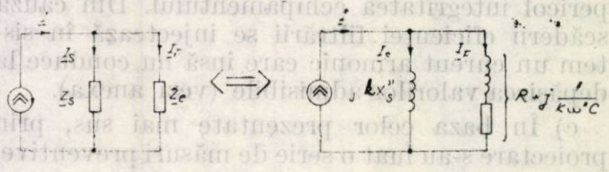


Fig. 6. Comportarea circuitului la frecvența f_+.

Pentru schema echivalentă din figura 6, relațiile (13) și (14) devin :

$$\begin{cases} \underline{I}_F = \underline{I}\dfrac{jX''_S\cdot k}{R+j\dfrac{1}{k\omega'' C}+jX''_S\cdot k} = \underline{I}\dfrac{1}{1+D-jE} & (26) \\ \underline{I}_S = \underline{I}\dfrac{R+j\dfrac{1}{k\omega'' C}}{R+j\dfrac{1}{k\omega'' C}+jX''_S\cdot k} = \underline{I}\dfrac{1}{1+\dfrac{1}{D-jE}} & (27) \end{cases}$$

$$D = \frac{1}{k^2\omega_0 C X_S}\cdot\frac{f_0}{f_+}\left(\frac{f_+}{f_0}-\frac{f_0}{f_+}\right), \qquad (28)$$

$$E = \frac{f_0}{f_+}\cdot\frac{R}{k\cdot X_S}, \qquad (29)$$

$$X_S'' = \frac{f_+}{f_0} X_S. \tag{30}$$

Valorile absolute ale mărimilor calculate sînt :

$$\begin{cases} I_F = I \dfrac{1}{\sqrt{(1+D)^2 + E^2}} & (31) \\ I_S = I \sqrt{\dfrac{D^2 + E^2}{(1+D)^2 + E^2}} & (32) \end{cases}$$

Concluzii

a) În condițiile funcționării la frecvență fundamentală diminuată, circuitul paralel alcătuit din reactanța inductivă a sistemului și reactanța capacitivă a filtrului, amplifică regimul deformant, comportîndu-se ca un oscilator LC. În această situație se produce atît avarierea echipamentului de filtrare-compensare prin circulația unui supracurent, cît și absorbirea din sistem a unui curent armonic important, ceea ce conduce la pierderi suplimentare de energie în sistem (vezi anexa).

b) În condițiile funcționării la frecvență fundamentală mărită, circuitul paralel alcătuit din reactanța inductivă a sistemului și reactanța inductivă a filtrului se comportă ca un circuit divizor. În această situație, curentul absorbit de filtru nu atinge valoarea nominală proiectată, scăzînd eficiența filtrării, dar nu se pune în pericol integritatea echipamentului. Din cauza scăderii eficienței filtrării se injectează în sistem un curent armonic care însă nu conduce la depășirea valorilor admisibile (vezi anexa).

c) În baza celor prezentate mai sus, prin proiectare s-au luat o serie de măsuri preventive, dintre care cele mai importante sînt :

- considerarea, pentru frecvența de acord a valorii minime de durată, a frecvenței fundamentalei ;
- realizarea practică a bobinelor de acord cu prize corespunzătoare treptelor de variație a frecvenței pentru posibilitatea modificării acordului ;
- asigurarea priorității la conectarea circuitelor absorbante în ordine crescătoare a rangului armonicii, respectiv în ordine descrescătoare la deconectare.

d) Avînd în vedere efectele posibile ale modificării valorii nominale a tensiunii, măsura de precauție folosită este :

- alegerea condensatoarelor cu o tensiune la borne superioară tensiunii nominale a rețelei, astfel încît să se prevină distrugerea acestora în cazul creșterii tensiunii rețelei, aceptîndu-se o diminuare a puterii reactive utile furnizate în valoare relativ egală cu inversul pătratului raportului tensiunilor.

ANEXĂ

EXEMPLU DE APLICAȚIE

Caracteristicile sistemului

- tensiunea nominală $U_n = 6$ kV
- puterea de scurtcircuit $S_{sc} = 100$ MVA
- frecvența fundamentalei $f_0 = 50$ Hz
- pulsația fundamentalei $\omega_0 = 314$
- reactanța sistemului $X_S = 0{,}396\ \Omega$

Caracteristicile filtrului

- capacitate $C = 57\ \mu$F
- inductivitate $L = 7{,}1$ mH
- rezistența $R = 0{,}37\ \Omega$
- frecvența de acord $f = 250$ Hz
- armonica de acord $k = 5$

a) *Distribuția curenților în cazul* $f_0 = 50$ Hz (relațiile (17), (18))

$$\frac{I_F}{I} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\dfrac{0{,}37}{5 \cdot 0{,}396}\right)^2}} = 0{,}983$$

$$\frac{I_S}{I} = \frac{\dfrac{0{,}37}{5 \cdot 0{,}396}}{\sqrt{1 + \left(\dfrac{0{,}37}{5 \cdot 0{,}396}\right)^2}} = 0{,}183$$

b) Distribuția curenților în cazul $f_- = 47$ Hz (relațiile (24), (25))

$$A = \frac{1}{5^2 \cdot 314 \cdot 57 \cdot 10^{-6} \cdot 0{,}396} \cdot \frac{50}{47}\left(\frac{50}{47} - \frac{47}{50}\right) = 0{,}743$$

$$B = \frac{0{,}37}{5 \cdot 0{,}396} \cdot \frac{50}{47} = 0{,}198$$

$$\frac{I_F}{I} \frac{1}{\sqrt{(1-0{,}743)^2 + 0{,}198^2}} = 3{,}08$$

$$\frac{I_S}{I} = \sqrt{\frac{0{,}743^2 + 0{,}198^2}{(1 - 0{,}743)^2 + 0{,}198^2}} = 2{,}37$$

c) Distribuția curenților în cazul $f_+ = 51$ *Hz* (relațiile (31) (32))

$$D = \frac{1}{5^2 \cdot 314 \cdot 57 \cdot 10^{-6} \cdot 0{,}396} \cdot \frac{50}{51}\left(\frac{51}{50} - \frac{50}{51}\right) = 0{,}219$$

$$E = \frac{0{,}37}{5 \cdot 0{,}396} \cdot \frac{50}{51} = 0{,}183$$

$$\frac{I_F}{I} = \frac{1}{\sqrt{(1 + 0{,}219)^2 + 0{,}183^2}} = 0{,}81$$

$$\frac{I_S}{I} = \sqrt{\frac{0{,}219^2 + 0{,}183^2}{(1 + 0{,}219)^2 + 0{,}183^2}} = 0{,}23.$$

Bibliografie

[1] Antoniu, I. S. *Bazele electrotehnicii*. Editura Didactică și Pedagogică, București, 1974.

[2] Bercovici, M. ș.a. *Rețele electrice*. Editura Tehnică, București, 1974.

Interdependența dintre caracteristicile cărbunelui, procesul de uscare și măcinare și stabilitatea arderii

Dr. ing. GEORGE CHERCEA, sing. CRĂIȚA MANGU*

Descriptori: caracteristici cărbune, prelucrare cărbune

CZ: 621.311.22/23 :662.64/66 :662.61

Articolul de față prezintă influența caracteristicilor cărbunilor asupra proceselor de uscare, măcinare și ardere.

Aceste procese au un caracter dependent, existînd condiționări reciproce între ele. Astfel, o aprindere stabilă a amestecului praf-aer se realizează atunci cînd în punctul de aprindere este o temperatură suficient de ridicată și o concentrație de gaze combustibile suficient de mare.

O ardere stabilă se realizează atunci cînd există o anumită concentrație de praf, care la rîndul ei este determinată de modul de desfășurare a procesului de uscare în moară.

The present paper approaches the influence of coal features on drying, grinding and combustion processes.

These processes display a dependent character. Among them mutual conditioning occurs. Thus, a steady ignition of the powder-air mixture is achieved only when in the ignition point a high enough temperature and a high enough flue gas concentration are attained.

A steady combustion is achieved only when there is a certain powder concentration, which, in its turn, is determined by the dry process development within the mill.

Literatura tehnică prezintă de obicei aspecte legate de uscarea, măcinarea, arderea și asigurarea stabilității arderii cărbunelui în mod izolat, fără a pune în evidență interdependența dintre aceste procese .Autorii își propun ca în lucrarea de față să schițeze un model al acestei interdependențe, care să ofere rezultate utile atît în activitatea de cercetare și proiectare, cît și în cea de exploatare a cazanelor de abur.

1. Uscarea și măcinarea cărbunilor

În vederea arderii, cărbunele este uscat și măcinat într-un curent de gaze calde (aer preîncălzit sau gaze de ardere) în instalații de preparare a prafului avînd în componență mori de construcții diferite. La ieșirea din instalația de preparare a prafului, aceste gaze calde împreună cu praful de cărbune și cu vaporii de apă eliminați prin uscare formează un amestec bifazic gaz — solid. În mod obișnuit, temperatura acestuia este de 80—120°C în cazul mixtelor și huilei și de 140—160°C în cazul lignitului și cărbunelui brun.

Finețea de măcinare realizată de instalația de preparare a prafului depinde de mai mulți factori, din care cei mai importanți sînt: construcția instalației, existența și poziția separatorului, sarcina, uzura morii etc. În practică valoarea considerată optimă a fineții de măcinare variază între limitele prezentate în tabelul 1.

Valoarea cantității de gaze necesare uscării cărbunelui este foarte importantă pentru concepția unui focar ce funcționează cu praf de cărbune. Această cantitate depinde de temperatura gazelor (T_G), umiditatea inițială a cărbunelui (W_i) și de umiditatea reziduală (admisibilă) a prafului. Cantitatea de gaze necesare uscării rezultă din bilanțul termic al instalației de preparare a prafului.

Tabelul 1

Finețea optimă de măcinare

Cărbunele	Conținut de volatile raportat la masa comb., V_{mc}	Conținut de umiditate raportat la masa inițială, W_i	Resturi pe site		
			R_{90}	R_{200}	R_{1000}
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Huilă	30—35	~7	20—40	1,5—2	—
Mixte	35—45	~10	30—45	1,5—2	—
Cărbune brun și lignit	~50	30—40	45—60	pînă la 3,5	~1

OBSERVAȚIE: Valorile nu corespund în cazul focarelor ciclon.

În continuare se va face o apreciere globală asupra modului în care caracteristicile cărbunelui și ale gazelor de uscare influențează asupra stabilizării flăcării. Se consideră că: valoarea pierderilor de căldură ale instalației de preparare a prafului este egală cu valoarea cantității de energie electrică cu care este alimentată moara; valoarea căldurii specifice a gazelor este egală cu cea a cărbunelui reprezentînd 1 kJ/ /kgK.

Schema instalației de preparare și ardere a prafului de cărbune este prezentată în figura 1.

Conform acestei scheme, în instalația de preparare a prafului intră cantitatea de cărbune m_k și cantitatea de agent de uscare rezultată din amestecul a trei gaze m_a, m_b și m_c. Din insta-

* Dr. ing. George Chercea, sing. Crăița Mangu — ICEMENERG, București.

lația de preparare a prafului este evacuat spre arzătoare un amestec de gaze și praf ($m_{G1} + m_{pr}$).

Dintr-un bilanț termic se obține valoarea raportului dintre cantitatea de gaz transportat

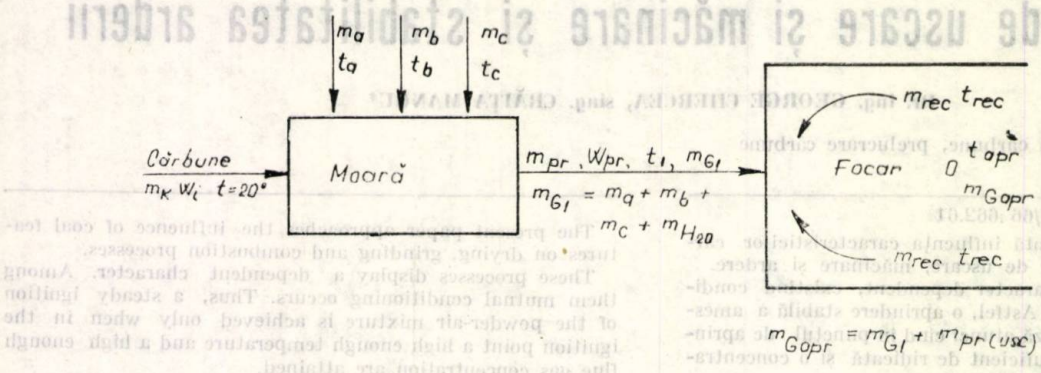


Fig. 1. Schema instalației de preparare și de ardere a prafului de cărbune.

(care include și umiditatea eliberată în procesul de uscare) și cantitatea de praf de cărbune:

$$\frac{m_{G1}}{m_{pr}} = \frac{2500\,\dfrac{W_i - W_{pr}}{1 - W_i} + \dfrac{1 - W_{pr}}{1 - W_i}(t_1 - 20)}{t_a - (1 + k_b + k_c)t_1 + k_b t_b + k_c t_c} + \frac{W_i - W_{pr}}{1 - W_i}, \quad (1)$$

unde k este raportul maselor de gaz „b", respectiv „c" și „a".

$$k_b = \frac{m_b}{m_a}, \quad k_c = \frac{m_c}{m_a}. \quad (2)$$

Praful de cărbune are altă umiditate (W_{pr}) decît cărbunele (W_i), deci rezultă evident:

$$m_k = m_{pr}\frac{1 - W_{pr}}{1 - W_i} \quad (3)$$

Au fost folosite notațiile:

m_{G1} — cantitatea de gaze la ieșirea din instalația de preparare a prafului, (kg/s);
m_{pr} — cantitatea de praf de cărbune (kg/s);
m_a — cantitatea de gaz de uscare „a" (kg/s);
m_b — cantitatea de gaz „b" (kg/s);
m_c — cantitatea de gaz „c" (kg/s);
t_a — temperatura gazului de uscare „a" (°C);
t_b — temperatura gazului „b" (°C);
t_c — temperatura gazului „c" (°C);
t_1 — temperatura amestecului la ieșirea din instalația de preparare a prafului (°C);
W_i — umiditatea cărbunelui raportată la masa inițială (kg/kg);
W_{pr} — umiditatea prafului de cărbune la ieșirea din instalația de preparare a prafului (kg/kg).

Examinînd relația (1) se poate observa că primul termen al numărătorului primei fracții reprezintă cantitatea de căldură necesară vaporizării umidității, al doilea termen cantitatea de căldură necesară încălzirii cărbunelui, iar cea de a doua fracție cantitatea de gaz formată prin vaporizarea umidității.

În figurile 2 și 3 sînt prezentate două diagrame în a căror ordonată este înscris raportul m_{G1}/m_{pr}, iar în abscisă valoarea umidității inițiale a cărbunelui. La alcătuirea diagramelor s-a presupus că agentul de uscare este alcătuit dintr-un singur gaz cu temperatura t_a (deci $k_b = k_c = 0$).

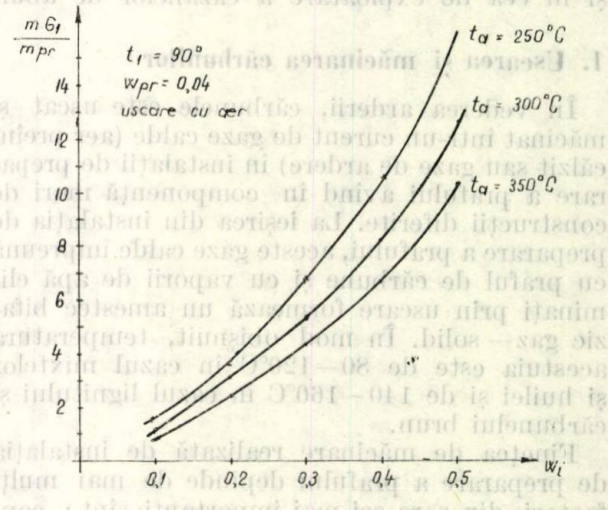


Fig. 2. Valoarea raportului m_{G1}/m_{pr} în funcție de umiditatea cărbunelui pentru valori coborîte ale temperaturii inițiale a agentului de uscare.

Din figura 2 se constată că pentru cărbunele cu o umiditate inițială avînd valori moderate, cum este cazul huilei și al mixtelor, poate fi utilizată uscarea cu aer, întrucît cantitatea de aer necesară uscării este mai mică decît cea necesară arderii (circa 5—10 kg/kg). În cazul

cărbunelui brun și al lignitului, uscarea se va face cu gaze de ardere fierbinți, pentru că, independent de alte motive, cum ar fi pericolul de explozie, cantitatea de aer necesară uscării ar fi mai mare decît cea necesară arderii (2,5 — —5 kg/kg). În tabelul 2 este prezentat un exemplu de calcul comparativ.

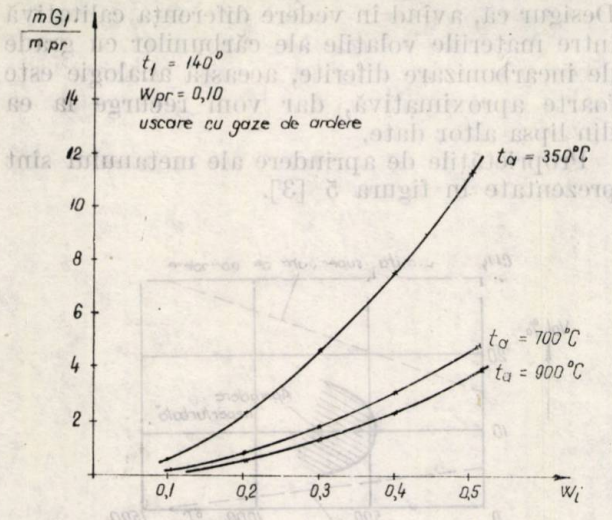


Fig. 3. Valoarea raportului m_{G_1}/m_{pr} în funcție de umiditatea cărbunelui pentru valori ridicate ale temperaturii inițiale a agentului de uscare.

Tabelul 2

Cantitățile de gaz necesare pentru uscare

		Mixte	Lignit
Putere calorifică [MJ/kg]		11,3	6,3
Conținutul de apă, W_t [kg/kg]		0,14	0,40
Umiditatea prafului, W_{pr} [kg/kg]		0,04	0,10
Temperatura amestecului la ieșirea din moară [°C]		90	140
Necesarul de gaz pentru $\frac{m_{G_1}/m_{pr}}{m_{G_1}/m_k}$ [kg/kg] la	$t_a = 300°$	$\frac{1,87}{1,68}$	$\frac{9,44}{6,29}$
	$t_g = 800°$	—	$\frac{2,67}{1,78}$
Aerul necesar pentru arderea stoichiometrică [2]			
$\frac{L_{0\,pr} = m_1/m_{pr}}{L_0 = m_1/m_k}$ [kg/kg]		$\frac{4,65}{4,17}$	$\frac{3,86}{2,57}$

2. Stabilitatea flăcării

Pornind de la numeroasele date experimentale referitoare la arderea particulelor de cărbune izolate este de așteptat ca o aprindere stabilă a amestecului praf-aer să aibă loc atunci cînd în punctul de aprindere se realizează o temperatură suficient de înaltă și o concentrație de gaze combustibile suficient de ridicată.

Preîncălzirea amestecului gaze-praf de cărbune se realizează în focar, în primul rînd, prin amestecul cu gaze de ardere fierbinți (așa-numita recirculare). Se poate considera că aportul încălzirii prin radiație acoperă doar necesarul de căldură aferent vaporizării umidității din praful de cărbune [1].

Evident că valoarea concentrației de praf în punctul de aprindere va fi cu atît mai coborîtă, cu cît este necesară o cantitate mai mare de gaze de ardere pentru a preîncălzi amestecul format în instalația de măcinare. Cantitatea totală de gaze în punctul de aprindere se compune : din cantitatea de gaz purtător m_{G_1}, cantitatea de gaze de ardere amestecate în focar, m_{rec}, și cantitatea de umiditate a prafului evaporată pînă în punctul de aprindere, $m_{pr} \cdot W_{pr}$.

Întocmind un bilanț termic în punctul de aprindere rezultă masa de gaz raportată la masa de praf uscat.

$$\frac{m_{G\,apr}}{m_{pr(usc)}} = C^{-1}_{pr,\,apr} = \frac{m_{G_1} + m_{rec} + m_{pr}W_{pr}}{m_{pr}(1 - W_{pr})} =$$

$$= \left(1 + \frac{m_{G_1}}{m_{pr}(1 - W_{pr})} + \frac{W_{pr}}{1 - W_{pr}}\right)\frac{t_{apr} - t_1}{t_{rec} - t_{apr}} +$$

$$+ \frac{m_{G_1}}{m_{pr}(1 - W_{pr})} + \frac{W_{pr}}{(1 - W_{pr})}, \qquad (4)$$

unde :

m_{rec} reprezintă cantitatea de gaze recirculate (kg/s) ;

t_{apr} — temperatura de aprindere (°C) ;

t_{rec} — temperatura gazelor recirculate (°C) ;

$C_{pr,apr}$ — concentrația de praf de cărbune în punctul de aprindere.

În relația (4), primul termen reprezintă raportul dintre cantitatea raportată de gaze de ardere recirculate necesară încălzirii amestecului compus din praf uscat, gaz din moară și umiditatea prafului, de la temperatura t_1 la temperatura de aprindere t_{apr}. Al doilea termen reprezintă cantitatea raportată de gaz intrată din moară, iar al treilea termen, umiditatea evaporată raportată a prafului de cărbune.

O analiză numerică a dependenței $m_{Gapr}/m_{pr(usc)} = f(m_{G_1}/m_{pr})$, efectuată pentru două cazuri extreme : huilă și lignit, a arătat că valorile caracteristicilor combustibilului au influențe de ordinul al doilea, diferențele obținute fiind sub 1%. În consecință, în figura 4 a fost reprezentată doar diagrama pentru lignit.

Se poate observa că valoarea cantității de gaze necesare asigurării stabilității flăcării

$m_{G\,apr}/m_{pr(usc)}$ este cu atît mai mare, cu cît este mai redusă concentrația prafului de cărbune la ieșirea din moară (deci cu cît este mai mare raportul m_{G1}/m_{pr}), cu cît este mai ridicată temperatura de aprindere t_{apr} și cu cît este mai redusă temperatura gazelor de ardere recirculate t_{rec}.

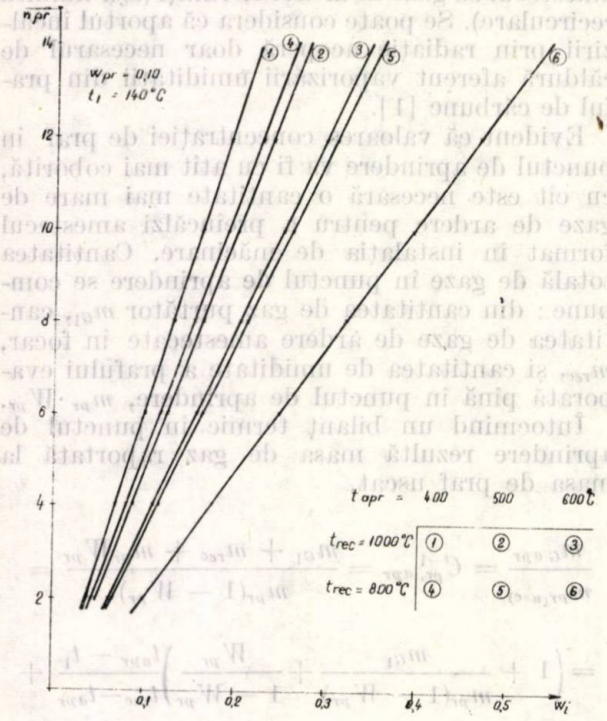


Fig. 4. Valoarea raportului $m_{Ga\,pr}/m_{pr(usc)}$ în funcție de raportul m_{G1}/m_{pr} pentru lignit.

În timpul procesului de încălzire a amestecului gaze-praf, are loc eliberarea materiilor volatile din cărbune. Concentrația acestora în cantitatea totală de gaze are valoarea :

$$c_V = \frac{m_{pr}(1 - W_{pr})V_{(usc)}}{m_{G\,apr}} = \left(\frac{m_{G\,apr}}{m_{pr(usc)}}\right)^{-1} V_{(usc)}. \quad (5)$$

Formarea flăcării este posibilă doar în locul în care concentrația gazelor combustibile (materiilor volatile) și temperatura sînt mai mari decît valorile limită inferioare de aprindere caracteristice amestecului repectiv de gaze. Concentrația de materii volatile în punctul de aprindere va fi cu atît mai mare cu cît este mai mare concentrația de praf la ieșirea din moară și cu cît cărbunele conține mai multe materii volatile. Din acest motiv este de dorit ca aerul necesar arderii să nu fie introdus în moară, ci direct în focar spre cărbunele care se află deja în stadiul de ardere, ca aer secundar. Aerul secundar va fi deci introdus în focar separat prin ajutaje speciale ale gurii arzătorului.

Din păcate, limitele de aprindere ale materiilor volatile provenite din diferiți cărbuni nu sînt determinate experimental pînă în prezent. Conform unei norme cunoscute, Zelkowski [1] propune, pe baza mai multor date experimentale, ca proprietățile de aprindere ale materiilor volatile să fie considerate aproximativ la fel, evident în mod grosolan, cu cele ale metanului. Desigur că, avînd în vedere diferența calitativă între materiile volatile ale cărbunilor cu grade de incarbonizare diferite, această analogie este foarte aproximativă, dar vom recurge la ea din lipsa altor date.

Proprietățile de aprindere ale metanului sînt prezentate în figura 5 [3].

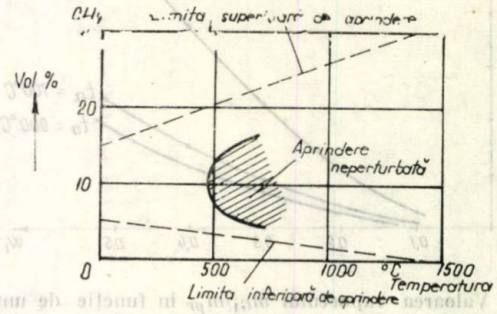


Fig. 5. Limitele de aprindere ale metanului în funcție de temperatură.

La aproximarea limitelor de aprindere trebuie avută în vedere și influența gazelor inerte prezente în punctul de aprindere. Pentru metan, această influență este redată în figura 6 [3].

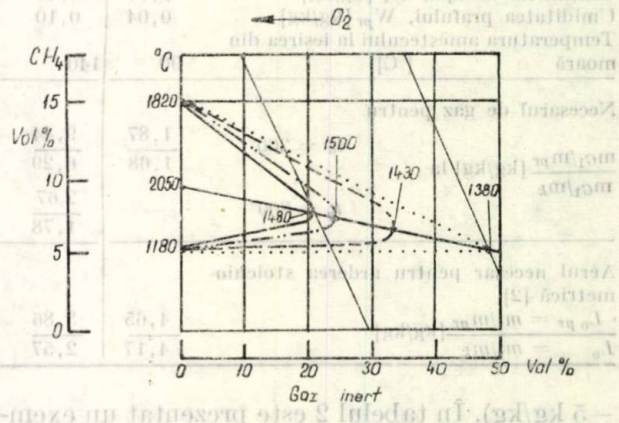


Fig. 6. Limitele de aprindere ale metanului în funcție de participația unui gaz inert: ····He; ----N_2; -·-·-·-H_2O; ——— CO_2.

Interesante sînt și rezultatele unei cercetări efectuate doar în scop orientativ (1], care arată că prezența vaporilor de apă influențează puternic viteza de propagare a flăcării (figura 7). De exemplu, se poate constata că o participație dublă a apei în raport cu gazele combustibile duce la o reducere cu pînă la 20% a vitezei flăcării. Din punctul de vedere al arderii cărbunelui, aceasta înseamnă că vor exista dificultăți mari

în stabilizarea flăcării de praf în cazul în care conținutul de umiditate al cărbunelui este mai mare decît cel de materii volatile.

Revenind la aspectele prezentate mai înainte, se poate concluziona în urma analizei stabilității flăcării, că flacăra va fi cu atît mai stabilă cu cît va fi mai ridicată concentrația de gaze combustibile în punctul de aprindere.

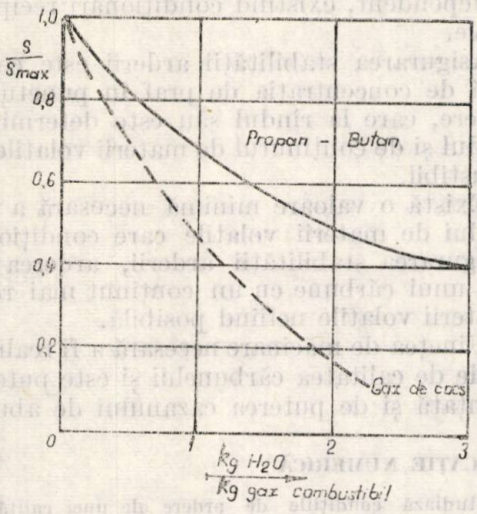


Fig. 7. Reducerea vitezei maxime a flăcării ca urmare a umidității gazelor combustibile.

Trebuie să se observe că majorarea temperaturii de aprindere t_{apr} și realizarea în mod simultan a concentrației necesare de materii volatile c_V în punctul de aprindere nu sînt întotdeauna posibile. Dacă masa de gaz purtător este mai mare (de exemplu ca urmare a umidității ridicate a cărbunelui), va fi necesară o cantitate mare de gaze de ardere pentru a realiza temperatura t_{apr}. Această situație conduce la o concentrație redusă de materii volatile.

Diagrama din figura 4 definește raportul dintre masa gazelor și masa prafului uscat în punctul de aprindere ($m_{G\,apr}/m_{pr(usc)}$. Acest raport este cu atît mai mare (deci concentrația de praf este cu atît mai mică), cu cît este mai mică concentrația de praf la gura arzătorului (m_{pr}/m_{G1}), cu cît este mai mare temperatura de aprindere și mai coborîtă temperatura gazelor de ardere recirculate.

Valoarea maximă posibilă a concentrației de materii volatile în punctul de aprindere poate fi realizată dacă întregul conținut de materii volatile din cărbune este eliberat pînă în momentul aprinderii (relația 5). Aprinderea are loc în cazul în care se realizează o concentrație minimă de materii volatile (4—5%). Există deci un conținut de materii volatile în cărbune minim necesar pentru a avea o aprindere stabilă. Valoarea acestuia rezultă din figura 8. Dacă un cărbune are un conținut de materii volatile mai mic decît cel care rezultă din diagramă, atunci realizarea concentrației de 4—5% în punctu în care se realizează temperatura de aprindere nu este posibilă.

În cazul arderii unui praf polidispers, în condițiile unui focar real, particulele sînt diferite

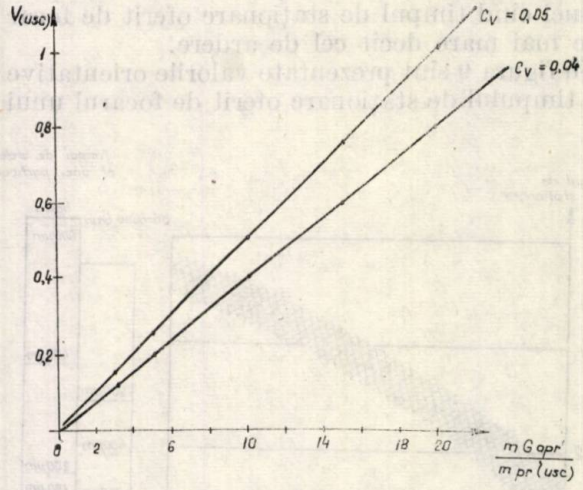


Fig. 8. Valoarea conținutului de materii volatile minimum necesară în cărbune pentru a asigura aprinderea.

ca mărime și deci ele vor elibera materiile volatile cu viteze diferite. Pentru a realiza concentrația de materii volatile necesară aprinderii se contează în primul rînd pe materiile volatile din particulele cu dimensiuni mici și mijlocii. Prin urmare, cu cît reactivitatea sa va fi mai mare, cu atît va fi stabilizată mai ușor flacăra de praf.

Experiența de exploatare a pus în evidență un fapt interesant. Ca urmare a alcătuirii canalelor de praf, se întîlnește ,în cazul arzătoarelor reale, o distribuție neuniformă a concentrației de praf. În anumite zone ale ambrazurii arzătorului, mai ales în partea superioară, concentrația de praf locală este mai mare decît cea medie. Întrucît flacăra apare în locul în care se atinge pentru prima dată concentrația limită a materiilor volatile eliberate simultan cu temperatura de aprindere, determinantă pentru stabilizarea flăcării va fi valoarea concentrației locale de praf în ambrazura arzătorului și nu cea medie.

În cazul arderii ligniților cu conținut mare de umiditate, valoarea concentrației de praf la ieșirea din moară este deseori prea mică pentru a asigura stabilizarea flăcării de praf. Pentru a o ridica, se folosesc sisteme cu concentratoare de praf, bine cunoscute în literatura tehnică [4].

3. Arderea

Prima fază a procesului de ardere este întotdeauna arderea materiilor volatile. A doua fază este arderea cocsului rezidual. Care este cantitatea de căldură eliberată în prima, respectiv

în a doua fază a arderii și cît durează arderea unei particule de anumite dimensiuni, depinde de natura cărbunelui și de conținutul său de materii volatile. Experiența a arătat că arderea unei particule de cărbune brun este mult mai rapidă decît cea a uneia de huilă cu aceeași dimensiune .O ardere completă este de așteptat atunci cînd timpul de staționare oferit de focar este mai mare decît cel de ardere.

În figura 9 sînt prezentate valorile orientative ale timpului de staționare oferit de focarul unui

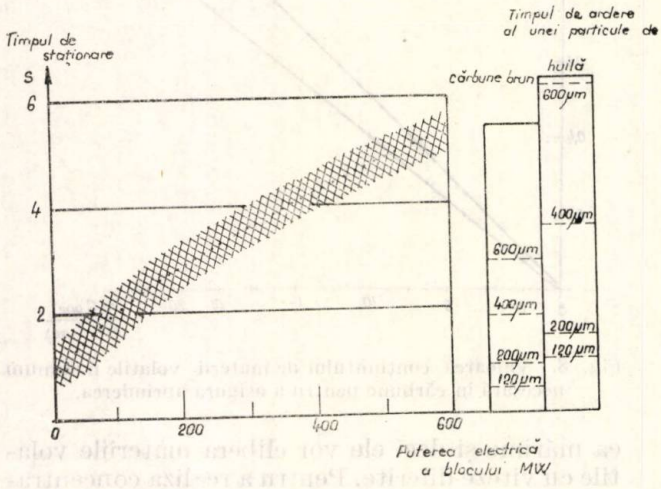


Fig. 9. Timpul de staționare oferit de focarele cazanelor de abur și timpii de ardere ai particulelor de cărbune de dimensiuni diferite.

cazan de abur funcționînd cu praf de cărbune și cu evacuarea zgurii în stare solidă. Acesta a fost calculat după Dolezal [5]. În aceeași figură sînt prezentați și timpii de ardere ai unor ligniți și huile tipice. Ei au fost calculați după Zelkowski [1], în ipoteza că arderea cărbunelui este împiedicată ca urmare a unui amestec imperfect cu aerul și a unui efect de răcire mult prea puternic al ecranelor focarului. Se poate constata, de exemplu, că în timp ce o particulă de lignit de 400 μm arde în focarul unui bloc de 200 MW, aceeași mărime de particulă de huilă va arde doar în focarul unui bloc de 500—600 MW. Acest proces este influențat de reactivitatea cărbunelui, de conținutul de materii volatile și altele. În general, trebuie considerat că pentru aceleași condiții de ardere, cărbunii bruni și ligniții pot fi măcinați mai grosolan decît huila.

4. Concluzii

Din cele prezentate în lucrarea de față pot fi trase cîteva concluzii interesante, și anume :

a) Procesele de uscare, măcinare, ardere și asigurarea stabilității arderii nu au un caracter independent, existînd condiționări reciproce între ele.

b) Asigurarea stabilității arderii este condiționată de concentrația de praf în punctul de aprindere, care la rîndul său este determinată de modul și de conținutul de materii volatile din combustibil.

c) Există o valoare minimă necesară a conținutului de materii volatile care condiționează asigurarea stabilității arderii, arderea stabilă a unui cărbune cu un conținut mai redus de materii volatile nefiind posibilă.

d) Finețea de măcinare necesară a fi realizată depinde de calitatea cărbunelui și este puternic influențată și de puterea cazanului de abur.

APLICAȚIE NUMERICĂ

Se studiază condițiile de ardere ale unei calități de mixte de Valea Jiului caracterizate prin conținutul de umiditate raportat la masa inițială $W_i = 12\% = 0{,}2$ kg/kg.

Pentru a calcula raportul m_{G1}/m_{pr} se folosește relația (1) sau figura 2 (uscare cu aer). Rezultă pentru temperatura aerului preîncălzit $t_a = 300°C$ și temperatura amestecului $t_1 = 90°C$: $m_{G1}/m_{pr} = \mathbf{1{,}54}$ kg/kg.

Cu relația (4) sau (aproximativ) din figura 4 se determină raportul $m_{G\,apr}/m_{pr(usc)}$. Rezultă pentru temperatura de aprindere: $t_{apr} = 500°C$ și temperatura gazelor recirculate $t_{rec} = 800°C$: $m_{G\,apr}/m_{pr(usc)} = 5{,}26$ kg/kg. Corespunzător acestei valori, conținutul de materii volatile în cărbunele la starea uscată, necesar asigurării stabilității arderii, este conform figurii 8: $V_{(usc)} = 0{,}21 - 0{,}26$ kg/kg.

Avînd în vedere conținutul de materii volatile raportat la masa combustibilă de $V_{(comb)} = 0{,}49$ kg/kg, rezultă că pentru acest combustibil, condițiile de stabilitate a arderii vor fi îndeplinite doar în cazul unui conținut de cenușă raportat la masa uscată, de cel mult 0,47 — 0,57 kg/kg.

Depășirea acestuia înseamnă pierderea condițiilor de stabilitate a arderii și impune arderea cu foc de susținere de hidrocarburi.

Bibliografie

[1] Zelkowski, J. *Kohleverbrennung.* VGB-Kraftwerkstechnik, Essen, 1986.

[2] Brandt, F. *Brennstoffe und Verbrennungsrechnung.* Vulkan-Verlag, Essen, 1981.

[3] Günther, R. *Verbrennung und Feuerungen.* Springer-Verlag, Berlin, 1974.

[4] Buck, T., Schüler, U. *Auslegung und Betriebserfahrungen mit Dampferzeugern und Feuerungen für minderwertige Braunkohle.* În: EVT Bericht, nr. 18/73.

[5] Dolezal, R. *Dampferzeugung.* Springer-Verlag, Berlin 1985.

(Primit la 8 februarie 1988, acceptat la 8 aprilie 1988)

Preîncălzitor de aer cu tuburi termice pentru recuperarea căldurii reziduale a gazelor de ardere evacuate la un cazan CR-9. Rezultate experimentale

Ing. ANTON ROȘU, ing. CONSTANTIN BILEGAN,
ing. ECATERINA BĂLĂNESCU, ing. GHEORGHE GHEORGHE,
ing. VASILE MANEA*

Descriptori : recuperare căldură, gaze de ardere, recuperatoare

CZ : 621.311.18 : 662.613.5

Lucrarea tratează problema economisirii combustibilului necesar unui cazan CR-9 prin îmbunătățirea randamentului acestuia ca urmare a reducerii pierderilor de căldură cu gazele de ardere evacuate (q_2). Instalarea unui schimbător de căldură cu tuburi termice de tip gaze-aer pe traseul de evacuare a gazelor de ardere din cazan face posibilă, odată cu scăderea temperaturii gazelor evacuate în mediul ambiant, și utilizarea unei părți din căldura acestora pentru preîncălzirea aerului de ardere.

În articol sînt prezentate caracteristicile tehnice și economice ale instalației realizate, precum și rezultatele experimentărilor efectuate la un cazan CR-9 pentru stabilirea performanțelor funcționale ale acestui tip nou de recuperator de căldură.

The report deals with the issue of fuel saving at a CR-9 boiler by improving its efficiency as a consequence of the reduction of exhausted flue gas heat losses (q_2). The installation of a gas-air heat exchanger with thermal pipes on the boiler flue gas exhaustion line and the decrease of the environment-exhausted gas temperature enable utilisation of a part of the flue gas heat for combustion air preheating.

The paper sets forth the technical and economical features of the facility, as well as the experimental results of the tests undertaken on a CR-9 boiler for determination of the operating performances of such a type of heat recuperator.

Introducere

Creșterea randamentului cazanelor energetice contribuie în mod direct la economisirea combustibililor. Una din căile des utilizate în acest scop o constituie reducerea pierderilor de căldură cu gazele de ardere evacuate din cazane (q_2), ce poate fi realizată și prin coborîrea temperaturii de evacuare a acestora la valori care să permită funcționarea în condiții de deplină siguranță a agregatului [1 — 5].

Reducerea temperaturii gazelor de ardere evacuate în mediul ambiant pînă în zona punctului de rouă acidă sau chiar sub aceasta, constituie o preocupare de mare actualitate pe plan mondial. În acest context, pe lîngă utilizarea unor materiale rezistente la coroziune (oțeluri speciale, materiale ceramice, sticlă etc.), noul tip de schimbător de căldură cu tuburi termice și-a dovedit utilitatea [8, 9, 10].

Cercetările efectuate la ICEMENERG în domeniul tuburilor termice, atît în laborator, cît și pe un stand funcționînd în paralel cu canalul de evacuare a gazelor de ardere ale cazanului de 165 t/h de la CET Oradea [12], au contribuit la acumularea de experiență în ceea ce privește proiectarea, realizarea și exploatarea noilor tipuri de recuperatoare de căldură cu tuburi termice. Pe lîngă elaborarea unei metode de dimensionare a instalației, au fost puse la punct procedee de umplere a tuburilor termice, de determinare a performanțelor tehnice și economice, precum și de urmărire a comportării în exploatarea de lungă durată a modelelor executate.

Experiența acumulată la ICEMENERG în acest domeniu a permis elaborarea proiectului și execuția unei instalații de preîncălzitor de aer cu tuburi termice pentru un cazan de abur de tip CR — 9 funcționînd pe gaze, al Întreprinderii de Bere și Spirt din Bacău. În baza rezultatelor obținute, soluția se poate generaliza și la alte cazane de același tip.

În cele ce urmează vor fi prezentate caracteristicile tehnice ale preîncălzitorului de aer cu tuburi termice (PATT) instalat la întreprinderea menționată, precum și performanțele obținute în timpul funcționării cazanului CR —9 astfel modificat.

1. Cazanul CR-9 din Întreprinderea de Bere și Spirt Bacău

Cazanul Vulcan CR — 9 are debitul maxim de abur de 10 t/h, presiunea de 16 bar și temperatura de saturație corespunzătoare acestei presiuni. Constructiv, cazanul are un singur drum de gaze, pereții focarului parțial ecranați, iar ca suprafețe de schimb de căldură este dotat numai cu preîncălzitor de aer cu o suprafață de 246 m^2, format din țevi cu diametrul 54 × × 2 mm, așezate orizontal și sudate la capete în două plăci tubulare.

* Ing. Anton Roșu, ing. Ecaterina Bălănescu, ing. Gheorghe Gheorghe, ing. Vasile Manea — cercetători științifici la ICEMENERG, București ing. Constantin Bilegan — inspector pr. de specialitate la M.E.E.

Instalaţia de ardere este formată dintr-un arzător mixt de gaze şi păcură AGP — 3 cu pulverizare mecanică. În prezent cazanul funcţionează numai pe gaze naturale, consumînd, la sarcină nominală, un debit de 900 m³/h*. Debitul de aer necesar arderii este de 9000 m³/h*, iar debitul de gaze de ardere produse este de 11700 m³/h*.

Cazanul este dotat cu un ventilator de aer avînd caracteristicile :

— debit	14 400 m³/h
— presiune	2 650 Pa (0,0265 bar)
— temperatura aerului	297 K
— turaţie	1 465 rot/min
— putere motor	22 kW

şi un ventilator de gaze de ardere cu următoarele caracteristici :

— debit	20 000 m³/h
— presiune	1 030 Pa (0,0103 bar)
— temperatura gazelor	473 K
— turaţie	1 000 rot/min
— putere motor	17 kW

Absenţa unor suprafeţe de schimb de căldură pentru preîncălzirea apei de alimentare (economizor) şi pentru supraîncălzirea aburului conduce la evacuarea gazelor de ardere cu o valoare ridicată a temperaturii (circa 450 K) ceea ce înseamnă pierderi mari de căldură ($q_2 = 9 - 10\%$) cu reducerea în aceeaşi măsură a randamentului ($\eta \approx 89\%$).

2. Descrierea preîncălzitorului de aer cu tuburi termice

Preîncălzitorul de aer cu tuburi termice este un preîncălzitor special, destinat să lucreze în zone cu temperaturi scăzute (înainte de coş). Placa tubulară este orizontală şi delimitează cele două spaţii de circulaţie : aer şi gaze de ardere. Tuburile termice se sprijină liber (vertical) pe placa tubulară şi traversează atît spaţiul de gaze de ardere, cît şi cel de aer ($h = 1{,}62$ m). Amplasarea acestora în placa tubulară este prezentată în figura 1.

Transferul de căldură din gazele de ardere la aer se realizează prin circulaţia amestecului fluid din interiorul tubului termic.

Preîncălzitorul are următoarele dimensiuni de gabarit : 3940 × 1700 × 1290 mm, iar greutatea totală este de 5610 kg.

În figurile 2 şi 3 se poate vedea amplasarea orizontală a preîncălzitorului pe canalul de gaze de ardere spre coş, precum şi racordarea sa prin canale de aer şi gaze de ardere la ventilatoare şi coş.

* m³ în condiţii normale de presiune şi temperatură.

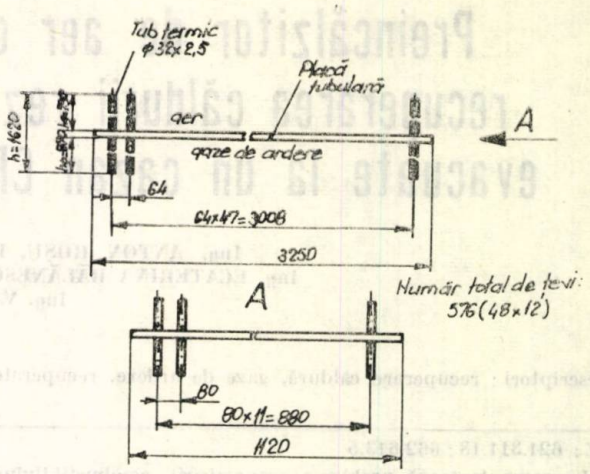


Fig. 1. Dispunerea tuburilor termice în placa tubulară.

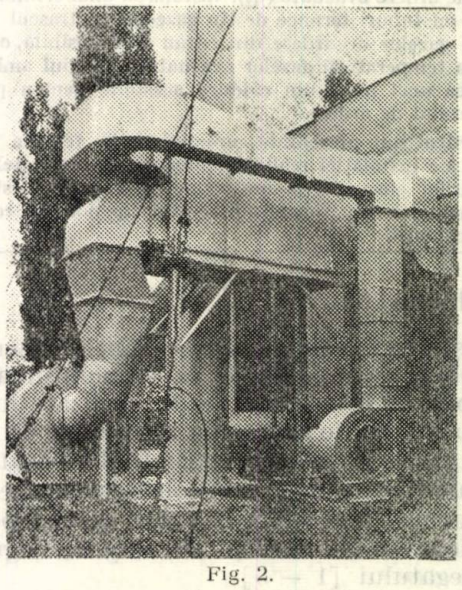


Fig. 2.

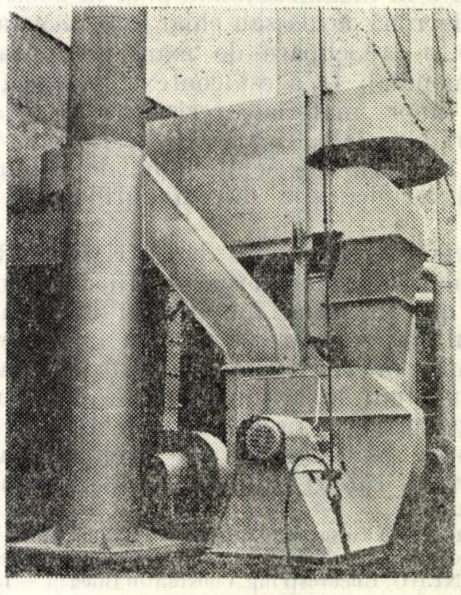


Fig. 3

3. Rezultate experimentale obținute la cazanul CR-9 dotat cu preîncălzitorul de aer cu tuburi termice

Pentru a se scoate în evidență performanțele și eficiența economică a preîncălzitorului de aer cu tuburi termice (PATT) montat la cazanul nr. 7 al Intreprinderii de Bere și Spirt Bacău s-a întocmit un program de experimentări pentru trei regimuri de sarcină a cazanului (10 t/h, 8 t/h și 6 t/h) pentru care s-au urmărit și notat următorii parametri ai cazanului: debitul de abur, presiunea aburului în tambur, debitul de gaze naturale arse, presiunea gazelor în focar, temperatura aerului de ardere (după preîncălzitorul de aer al cazanului) și temperatura gazelor de ardere înainte și după preîncălzitorul de aer al cazanului (tabelul 1). Au fost măsurați în plus parametrii care caracterizează funcționarea PATT : temperatura aerului înainte și după PATT, temperatura gazelor de ardere înainte și după PATT, căderile de presiune în PATT pe partea de aer și de gaze, compoziția gazelor de ardere (CO_2 și O_2) conform schemei de măsură din figura 4 (tabelul 2).

Tabelul 1

Valoarea medie a parametrilor consemnați de aparatele de pe tabloul cazanului

Temperatură aer intrare cazan (după PA) [K]	Temperatură gaze de ardere înainte de PA [K]	Presiune gaze de ardere în focar [Pa]	Presiune abur tambur [MPa]	Debit abur [t/h]	Debit gaze [m³/s]	Temperatură gaze de ardere după PA [K]	Observații (sarcina cazanului)
484,55	656,3	211	0,52	10,05	0,28	454	10 t/h
478	631,1	127,5	0,527	8,09	0,23	447	8 t/h
440	525,1	422	0,44	6,11	0,16	448	6 t/h

4. Performanțele preîncălzitorului de aer cu tuburi termice instalat la cazanul CR-9

Pe baza măsurătorilor experimentale realizate, s-a întocmit bilanțul termic al cazanului, care a permis determinarea principalelor performanțe ale preîncălzitorului de aer cu tuburi termice, prezentate în tabelul 3. Se observă

Tabelul 2

Valoarea medie a parametrilor consemnați de aparatele portabile

Temperatura PATT [K]				Căderea de presiune în PATT între punctele [Pa]			Compoziția gazelor de ardere [%]		Observații (sarcina cazanului)
aer		gaze de ardere							
înainte	după	înainte	după	1—2	1—3	4—5	CO_2	CO_2	
263	316	452	412	29,5	147	88,3	8,25	6,15	10 t/h
265	311	447	414	19,6	98,1	78,5	6,4	9,9	8 t/h
265	309	440	409	19,6	49	68,7	5,86	9	6 t/h

Tabelul 3

Mărimea	U.M.	Sarcina		
		10 t/h	8 t/h	6 t/h
Volumul de gaze de ardere	m³/s*	3,29	3,09	2,48
Diferența de temperatură pe fluxul de gaze	K	40	33	31
Căldura specifică a gazelor de ardere	$\frac{kJ}{m^3 \cdot K}$	1,42	1,42	1,42
Cantitatea de căldură cedată în PATT de către gazele de ardere	kW	187,5	145,4	109,2
Volumul de aer	m³/s*	2,62	2,29	1,82
Diferența de temperatură pe fluxul de aer	K	53	46	44
Căldura specifică a aerului	$\frac{kJ}{m^3K}$	1,3	1,3	1,3
Debitul de căldură absorbită de aer	kW	185	136,9	103,8
Sarcina termică a PATT	kW	186,2	141,1	106,5
Suprafața PATT	m²	92,6	92,6	92,6
$\frac{\Delta t_{med} = t_{g1} + t_{g2}}{2} - \frac{t_{a1} + t_{a2}}{2}$	K	415,6	415,6	410,6
Coeficientul de transfer termic	$\frac{W}{m^2 \ K}$	13,93	10,69	8,36
Flux termic axial (q_a)	W/cm²	56,5	42,8	32,2
Flux termic radial (q_r)	W/m²	4021	3047	2300

* m³ în condiții normale de temperatură și presiune

că la debitul nominal al cazanului, la sarcina termică nominală a PATT de 186,2 kW în conformitate cu proiectul, coeficientul de schimb de căldură (14 W/m². K) şi fluxul termic radial (4021 W/m²) prezintă valori la limita superioară a nivelului datelor din literatura tehnică de specialitate, în timp ce fluxul termic axial (56,5 W/cm²) se încadrează în limitele indicate [8].

La acest tip de cazan prevederea preîncălzitorului de aer cu tuburi termice oferă posibilitatea preîncălzirii suplimentare a aerului necesar arderii (la debitul nominal al cazanului) cu circa 50 K, pe seama reducerii temperaturii gazelor de ardere evacuate la coş cu circa 40 K.

La proiectarea PATT s-a ţinut cont de eventualitatea alimentării cazanului cu păcură, care, dacă conţine sulf, limitează valoarea pînă la care se poate reduce temperatura gazelor de ardere la evacuare, pentru prevenirea coroziunii acide. În cazul în care un cazan funcţionează numai pe gaz natural se poate lua în consideraţie o valoare mult mai redusă a acestei temperaturi (de exemplu 375 — 395 K), iar PATT se realizează, în acest caz, prin mărirea numărului de rînduri de tuburi termice. Realizarea „modulară" a PATT permite adaptarea uşoară la schimbarea combustibilului, prin scoaterea sau introducerea în recuperator a numărului dorit de rînduri de tuburi termice.

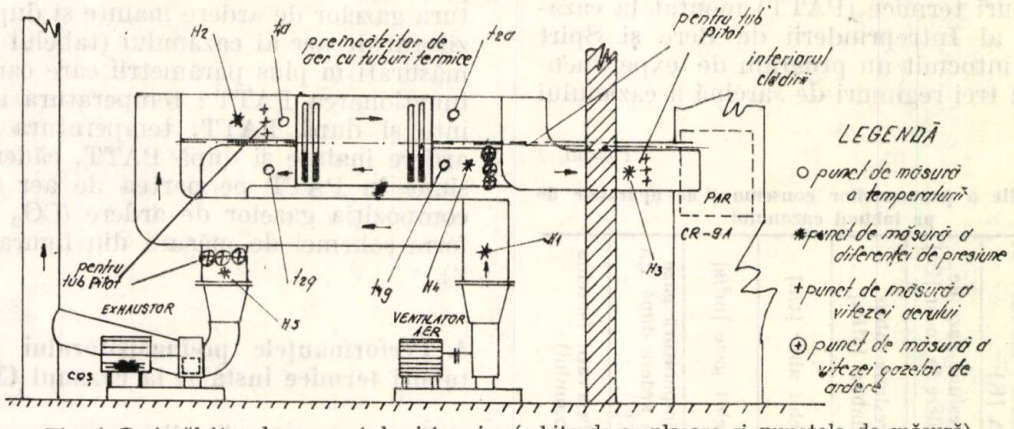


Fig. 4. Preîncălzitor de aer cu tuburi termice (schiţa de amplasare şi punctele de măsură).

5. Consideraţii tehnico-economice

Scăderea temperaturii gazelor de ardere la evacuare a permis reducerea în mod corespunzător a pierderilor de căldură aferente acestora (q_2). În tabelul 4 este prezentat modul de calcu al acestor pierderi de căldură, care, ţinînd

Tabelul 4

Mărimea	UM	Sarcina					
		10 t/h		8 t/h		6 t/h	
		cu PATT	fără PATT	cu PATT	fără PATT	cu PATT	fără PATT
Debitul de combustibil	m³/s*	0,28	0,28	0,23	0,23	0,146	0,146
Debit de gaze de ardere	m³/s*	3,29		3,09		2,48	
Volum de gaze de ardere raportat la m³* combustibil	m³/s*	11,65		13,2		16,9	
Volumul de aer	m³/s*	2,62		2,29		1,82	
Volum de aer raportat la m³* combustibil		9,28		9,77		12,43	
Temperatura gazelor de ardere la ieşire (tg_2)	K	412	452	414	447	409	440
Temperatura aerului la intrare în cazan (ta_2)	K	316	263	311	265	309	265
Exces de aer (α)	—	1,38		1,82		1,72	
Puterea calorifică a combustibilului	MJ/m³	35,8		35,8		35,8	
Pierderi de căldură cu gazele de ardere evacuate la coş (q_2)	%	6,78	8,64	6,84	8,86	8,43	10,88
Reducerea pierderilor de căldură q_2 cu ajutorul PATT	%	1,86	—	2,02	—	2,45	—
Pierderi de căldură prin radiaţie (q_5)	%	1,72	—	2,15	—	2,87	—
Suma pierderilor de căldură ($q_2 + q_5$)	%	8,5	10,36	8,99	11,01	11,3	13,75
Randamentul cazanului ($\eta = 100 - q_2 - q_6$)	%	91,5	89,64	91,01	88,99	88,7	86,25

* m³ la presiune şi temperatură normală

seama și de valoarea pierderilor de căldură prin radiație (q_5), a permis determinarea randamentului cazanului. Se observă că prin instalarea PATT pierderile de căldură cu gazele de ardere evacuate la sarcina nominală s-au redus cu 1,86 procente absolute, ceea ce a permis creșterea în aceeași măsură a randamentului cazanului la valoarea de 91,5%.

Creșterea randamentului cazanului a permis ca, la sarcina nominală, să se reducă consumul de combustibil al cazanului cu 23 kg c.c./h, ceea ce înseamnă, pentru un cazan care funcționează anual circa 7000 ore, o economie anuală de combustibil de circa 160 tc.c./an și recuperarea investiției, pe această bază, în circa 2 ani.

După un an de la instalarea preîncălzitorului de aer cu tuburi termice, perioadă în care acesta a funcționat circa 2000 ore, cumulînd o economie de combustibil de aproximativ 45 tc.c., s-a efectuat omologarea în faza de prototip a instalației, prilej cu care s-a constatat starea bună a tuburilor termice și menținerea performanțelor acestora (micșorarea temperaturii gazelor de ardere la evacuare cu 35 K).

Concluzii

Preîncălzitorul de aer cu tuburi termice montat la cazanul nr. 7 de tipul CR — 9 din Intreprinderea de Bere și Spirt Bacău s-a dovedit, în urma rezultatelor experimentale obținute, o soluție la nivelul tehnicii actuale în domeniu, coeficientul global de schimb de căldură avînd valori de circa 14 W/m²K.

Reducerea temperaturii gazelor de ardere la evacuarea din cazan cu circa 40 K și utilizarea acestei cantități de căldură pentru preîncălzirea preliminară a aerului necesar arderii cu circa 50 K a permis creșterea randamentului cazanului cu circa 2%, ceea ce duce la economisirea unei cantități însemnate de combustibil (sub formă de hidrocarburi) și face ca eficiența economică a acestui recuperator de căldură să fie foarte bună. De asemenea, schimbătorul de căldură a dovedit o bună comportare în exploatare, el menținîndu-și performanțele și la circa 1 an de la punerea lui în funcțiune.

Rezultatele experimentale obținute confirmă că soluția instalării unui PATT la cazanele de tip CR — 9 poate fi generalizată, aceasta conducînd la îmbunătățirea randamentului cazanului de abur și obținerea unor importante economii de combustibil.

Bibliografie

[1] Chercea, G., Rădulescu, M., Roșu, A. *Reducerea pierderilor de căldură prin ardere mecanic incompletă la cazanele de abur funcționînd cu lignit.* În: Energetica, 31, nr. 5, mai, 1983, p. 229—234.

[2] Chercea, G., Roșu, A., Poenaru, G. *Insuflarea aerului terțiar în pîlnia rece — procedeu de micșorare a pierderilor de căldură la cazanele de abur pe lignit.* În: Energetica 31, nr. 7—8, iul. -aug. 1983, p. 318—323.

[3] Chercea, G., Roșu, A., Dănilă, I. *Grătarul de postardere basculant — soluție eficientă pentru mărirea randamentului cazanelor de abur care funcționează cu lignit.* În: Energetica 31, nr. 9, sept. 1983, p. 386—394.

[4] Bodu, T., Popescu, R., Roșu, A. *Recuperarea zgurii cazanelor de abur în vederea rearderii.* În: Energetica, 31, nr. 10, 1983, p. 461—468.

[5] Cazacu, C., Bîcleșeanu, D., Ghetel, I., Rădulescu, M., Roșu, A., Ioniță, G. *Tehnologii îmbunătățite de ardere a lignitilor din bazinul Oltenia — soluții pentru cazanul de 1035 t/h.* În: Energetica, 31, nr. 11, 1983, p. 488—494.

[6] Roșu, A. *Recuperarea căldurii reziduale a gazelor de ardere evacuate din cazanele de abur.* În: Energetica, 33, nr. 3, martie 1985, p. 123—132.

[7] Romașcu, G., Roșu, A. *Preîncălzitoare de aer cu țevi de sticlă.* În: Energetica, 33, nr. 1, 1985, p. 25—32.

[8] Roșu, A. *Preîncălzitoare de aer cu tuburi termice pentru cazane de abur.* În: Energetica, 33, nr. 8, 1985, p. 358—369.

[9] Fetcu, D., Bilegan, I. C. *Schimbătoarele cu tuburi termice în sistemele de recuperare a căldurii.* În: Chaud Froid Plomberie, Franța nr. 339, 1979.

[10] Bilegan, I.C. *Tubul termic.* Editura Tehnică, București, 1982.

[11] Bilegan, I. C. *Tuburi termice din aluminiu pentru schimbătoare de căldură.* În: Energetica, 28, nr. 3, 1980, p. 112—116.

[12] Roșu, A. *Preîncălzitoare de aer cu tuburi termice. Experimentări la CET Oradea.* În: Energetica, 33, nr. 9, 1985, p. 416—424.

(Primit la 12 februarie 1988, acceptat la 8 aprilie 1988)

Echiparea MHC și CHMP utilizînd pompe centrifugale în regim de turbină

Ing. ROMULUS SFICHI, ing. DORIN BOȘCOIANU, ing. OVIDIU LUNGU*

Descriptori: microhidrocentrale, centrale hidroelectrice de mică putere, pompe centrifugale

CZ: 621.311.21 : 621.67

Lucrarea tratează cîteva probleme fundamentale privind reversibilitatea funcționării pompelor centrifugale în regim de turbină în vederea utilizării acestora pentru echiparea microhidrocentralelor și a centralelor hidroelectrice de mică putere. Se prezintă apoi concluziile unui experiment practic realizat în județul Suceava — MHC Grigorești echipată cu o pompă BRATEȘ-250, drept turbină — și se concluzionează posibilitatea generalizării acestei soluții care prezintă multiple avantaje tehnico-economice.

The report approaches several prime issues concerning reversibility of centrifugal pump operating under turbine regime, in view of endowing microhydropower plants and low power hydropower plants with such types of pumps. Thereafter are given the results of a practical experiment undertaken in the Suceava district, at the Grigorești microhydropower plant, which is fitted with a BRATEȘ-250 pump operating as turbine. Finally, a conclusion is drawn as to the possibility of generally implementing this solution with many-sided technical and economical advantages

Considerații generale

Studii recente elaborate în țara noastră evaluează micropotențialul hidroenergetic național printr-o producție medie anuală de energie electrică de 4 miliarde kWh, ceea ce reprezintă 10% din potențialul hidroenergetic amenajabil al țării și o economie de combustibil de circa un milion tone petrol. Aceasta înseamnă, potrivit acelorași studii, realizarea unui număr de circa 35 000 de microhidrocentrale (MHC) și centrale hidroelectrice de mică putere (CHEMP) în care se vor instala circa 2250 MW.

Programul de valorificare a micropotențialului hidroenergetic al țării se află în prezent în curs de înfăptuire, ceea ce a însemnat și înseamnă creșterea interesului specialiștilor în lărgirea gamei de microhidroagregate necesare a fi instalate în MHC și CHEMP, care incumbă o mare diversitate de soluții constructive în legătură cu condițiile de amplasament și funcționare.

În acest context, una din direcțiile abordate în țara noastră vizează extinderea posibilităților de lucru ale pompelor din fabricația curentă, funcționînd în regim de turbină.

Experiența dobîndită în acest domeniu [1, 2, 3] în alte țări, precum și în țara noastră se referă la mașini care funcționează cu rezultate bune și fără intervenții majore pe parcursul a numeroși ani de exploatare.

Funcționarea pompelor în regim de turbină dispune de o serie de avantaje, printre care mai importante sînt:

— simplitate constructivă în comparație cu turbinele echivalente;

— domenii de lucru cuprinse între $H = (4 - 100)$ m, $Q = (0{,}2 - 5)$ m³/s, cu randamente ridicate de pînă la 84 — 85%;

— siguranță în exploatare conferită de producția de serie mare și tehnologii avansate, astfel încît nu este necesară supravegherea permanentă, iar investițiile sînt minime.

Așa cum rezultă din figura 1 [1], pompele pot acoperi un domeniu larg de utilizare, care nu este satisfăcut de turbinele hidraulice din fabricația curentă.

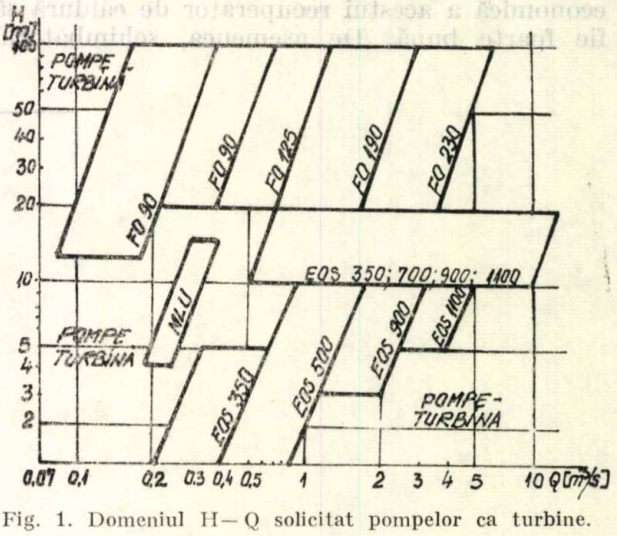


Fig. 1. Domeniul H — Q solicitat pompelor ca turbine.

* Ing. Romulus Sfichi, ing. Dorin Boșcoianu, ing. Ovidiu Lungu — IRE Suceava.

1. Studii și cercetări efectuate în țara noastră

Studiile efectuate în țara noastră în direcția utilizării pompelor ca turbine pentru echiparea MHC și CHEMP estimează posibilitatea instalării a circa 200 MW, în amenajări simple ce se pot realiza cu investiții minime, inclusiv pe plan local [1].

Energia electrică produsă de motorul electric asincron cu care este echipată pompa, devenit generator asincron, poate fi debitată în rețelele SEN sau se poate folosi în condiții de funcționare izolată pentru alimentarea unui număr restrîns de utilizatori (dacă puterea cerută se menține constantă).

Rezultatele bune obținute cu prilejul încercărilor de laborator efectuate asupra unor tipodimensiuni de pompe din producția curentă a Intreprinderii de Pompe AVERSA București confirmă pe deplin posibilitatea utilizării acestei soluții [2,3,4,5].

Varietatea constructiv-funcțională a pompelor permite utilizarea acestora în situații dintre cele mai diverse, chiar și pentru căderi de ordinul zecilor de metri.

Sînt considerate pompe centrifuge și diagonale monoetajate, din producția Întreprinderii AVERSA București, tiposeriile BRATEȘ, MV, MO, apoi pompele multietajate din tiposeriile MV, MU și pompe cu dublu flux din tiposeriile SIRET și NDS.

Încercările efectuate asupra fiecărui hidroagregat conțin determinări simultane de confirmare, atît pentru parametrii hidrodinamici, cît și pentru cei hidroenergetici. Rezultate bune și complete asupra domeniului de acoperit cu hidroagregate pentru MHC și CHEMP s-au obținut pentru pompele BRATEȘ și NDS (vezi nota 1).

Încercările făcute confirmă faptul că randamentele pompelor sînt comparabile cu cele ale turbinelor (în funcționare reversibilă). Performanțele realizate în regim de turbină sînt în concordanță cu datele din literatura tehnică [1, 2] în ipoteza egalității valorii absolute a turațiilor ca pompă și turbină, pe de o parte, și cea a unui curent unidimensional de fluid, pe de altă parte.

Din punct de vedere teoretic curbele caracteristice energetice $H\ (Q)$ (fig. 2) ale celor două regimuri de funcționare (ca pompă și ca turbină) se intersectează în punctul M considerat punctul teoretic optim de funcționare.

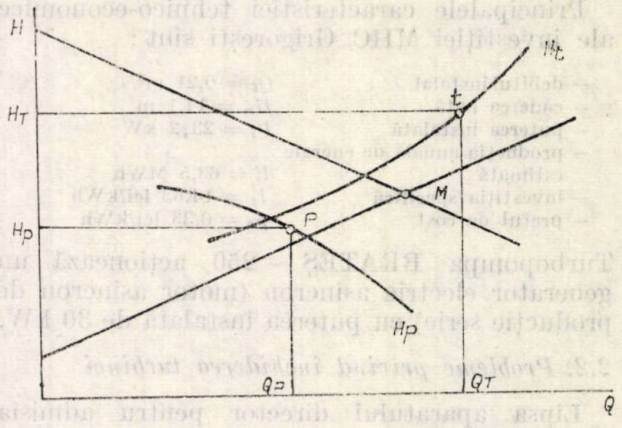


Fig. 2. Curbele caracteristice H(Q) pentru pompă și turbină.

Caracteristicile energetice reale $H_p\ (Q)$, pentru regim de pompă, și $H_t\ (Q)$, pentru cel de turbină, atestă faptul că punctele optime reale de funcționare (p și t) nu se mai află la aceleași debite, raportul lor fiind $k_Q = Q_p/Q_t$.

Presupunînd că puterile sînt egale în punctele optime [2] se obține pentru randamente relația $n_t \approx k_Q^3/n_p$ și ca urmare pentru energiile specifice $H_t \approx H_p/k_Q^2$ la aceeași turație.

Pentru aceeași energie specifică ($H_t = H_p$) rezultă raportul turațiilor $n_t = k_Q n_p$.

Se remarcă faptul că în regim de pompă divergența paletelor favorizează desprinderile și deci pierderile de sarcină. În regim de turbină curentul fluid este accelerat în canalele dintre palete, avînd un caracter convergent, ceea ce scade posibilitatea unor eventuale desprinderi. Aceasta atestă în plus faptul că o mașină hidraulică proiectată ca pompă poate funcționa cel puțin la fel de bine și în regim de turbină.

2. Un exemplu concret de amenajare a unei MHC utilizînd pompa centrifugală în regim de turbină

2.1. Caracteristici tehnico-economice

Într-un articol precedent [3] am prezentat problemele specifice proiectării MHC Grigorești din județul Suceava prevăzută a fi echipată cu o pompă BRATEȘ—250 ce urma a fi folosită ca turbină. Între timp, MHC în cauză realizîndu-se și fiind pusă în funcțiune ne-a permis să putem studia comportamentul hidroagregatului în exploatare și să tragem concluziile necesare generalizării acestei soluții.

---

1) Vasiliu, M., Comănescu, L., Anton, A., Sandu, L. *Realizări și perspective în domeniul utilizării pompelor în regim de turbină.* A VII-a consfătuire a energeticienilor din jud. Suceava, mai 1986.

2) Anton, A., Sandu, L., Hașegan, L., Comănescu, L. *Încercarea unei pompe în regim de turbină.* Conferința de Mașini Hidraulice și Hidrodinamică — Timișoara 1985.

3) * * * *Studiu experimental privind utilizarea pompei BRATEȘ—250—250 ca turbină.* Centrul de Cercetare Științifică și Inginerie Tehnologică pentru Pompe și Ventilatoare — București 1982.

4) * * * *Studiu asupra funcționării pompelor în regim de turbină,* contract 166/1985 — Institutul de Construcții București.

5) * * * *Stand pentru testări tehnologice și omologări ale microturbinelor hidraulice în gama de puteri 0—250 kW,* contract 152/1982 — Institutul de Construcții București.

Pompa BRATEŞ — 250 cu care s-a echipat MHC Grigoreşti a fost testată de CCSITPV Bucureşti, în 1982, pe standul de încercări de la Întreprinderea de Pompe AVERSA. Amplasamentul acestei amenajări este situat în zona unei acumulări de apă existente, valorificîndu-se astfel hidroenergetic diferenţa de nivel locală, creată de baraj.

Principalele caracteristici tehnico-economice ale investiţiei MHC Grigoreşti sînt :

— debitul instalat	$Q_i = 0{,}21$ m³/s
— căderea netă	$H_n = 14{,}1$ m
— puterea instalată	$P_i = 23{,}2$ kW
— producţia anuală de energie estimată	$E = 63{,}5$ MWh
— investiţia specifică	$I_s = 14{,}63$ lei/kWh
— preţul de cost	$p_c = 0{,}33$ lei/kWh

Turbopompa BRATEŞ — 250 acţionează un generator electric asincron (motor asincron de producţie serie) cu puterea instalată de 30 kW.

2.2. Probleme privind închiderea turbinei

Lipsa aparatului director pentru admisia apei în pompa utilizată ca turbină a implicat necesitatea unui robinet pe conducta forţată, la intrarea în clădirea MHC. Pentru amenajarea în cauză s-a utilizat un robinet clapă fluture cu acţionare hidraulică şi revenire prin contragreutate.

În acest sens, pe baza colaborării cu Institutul de Proiectare—Cercetare pentru Utilaj Petrolier Ploieşti (IPCUP) — Filiala Bacău, s-a realizat la Intreprinderea Metalurgică (IM) Bacău un dispozitiv hidraulic constituit dintr-un robinet cu clapă fluture acţionat hidraulic $P_n10 - D_n$ 250 (500).

Constructiv, dispozitivul de admisie a apei în turbopompa BRATEŞ — 250 este constituit din trei componente principale : robinetul propriu-zis, acţionarea hidraulică cu contragreutate şi grupul hidraulic.

Robinetul propriu-zis este un ansamblu tipizat din producţia IM Bacău. Acţionarea hidraulică este construită din următoarele elemente (fig. 3) :

— cilindru hidraulic cu plunjer ;
— braţ cu contragreutăţi ;
— suport acţionare ;
— bloc semnalizare ;
— suport contragreutate.

Cilindrul hidraulic este prevăzut cu alezaj în două trepte şi are rolul asigurării forţei şi cursei necesare pentru deschiderea robinetului, precum şi temporizarea (frînarea) în două trepte a închiderii robinetului pentru evitarea loviturii de berbec în conducta forţată. Viteza de închidere a robinetului pe ambele trepte, simultan, se face prin modificarea cuplului creat de contragreutăţi, precum şi prin modificarea deschiderii de trecere la un drosel de control scurgere ulei din cilindrul de forţă.

Braţul cu contragreutăţi este un ansamblu cu rol de manivelă care transformă mişcarea de translaţie, primită de la cilindrul hidraulic, în mişcare de rotaţie pe care o transmite axului robinetului. Pe acest braţ sînt prinse contra-

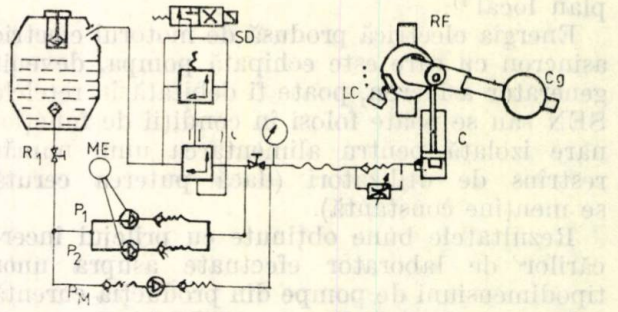


Fig. 3. Schema de principiu acţionare: RF — robinet fluture; Cg — contragreutate; Lc — limitatoare cursă; C — cilindru hidraulic de forţă; P_1, P_2 — pompe injecţie; PM — — pompă manuală; SD — supapa descărcare cu comandă electrică.

greutăţi corespunzătoare, ce asigură forţa necesară închiderii robinetului (la dispariţia presiunii în cilindrul hidraulic). Poziţia contragreutăţilor pe braţ poate fi reglată grosier (prin găuri diferite pe fiecare braţ) şi fin (prin rotirea pe excentric a greutăţilor).

Suportul acţionării reprezintă o construcţie sudată cu rol de sprijin pentru acţionarea hidraulică şi pentru limitatoarele de cursă (cu ax în consolă la D_n 250 şi cu ax dublu sprijinit la D_n 500).

Blocul de semnalizare este constituit din patru limitatoare de cursă capsulate, montate aparent pe suportul acţionării şi care primesc comanda de la camele reglabile montate pe un disc solidar cu axul braţului cu contragreutăţi.

Suportul contragreutăţilor are rolul de a sprijini contragreutăţile în poziţia închis a robinetului (pentru descărcarea axului de efort transversal, precum şi pentru reglarea poziţiei limită închis a robinetului).

Grupul hidraulic este format din două pompe de injecţie monosecţiune cu debit reglabil, antrenate, prin intermediul unui excentric, de un electromotor cu ax vertical. În componenţa grupului intră şi un bloc de distribuţie în interiorul căruia este plasată o pompă manuală cu plunjer, precum şi robinetul pentru separarea circuitului de acţionare manuală de circuitul de acţionare cu electropompă. Pe corpul de distribuţie sînt montate supapa reglabilă de suprapresiune şi supapa deblocabilă comandată electric, precum şi un manometru corespunzător, care indică valoarea presiunii din cilindrul de acţionare.

Instalaţia este alimentată (prin cădere liberă) cu ulei depozitat într-un bazin montat pe şasiu la o cotă superioară nivelului de admisie

în pompe. Acest bazin este prevăzut cu filtre corespunzătoare și cu nivelă de ulei.

Tot la bazin este racordată și conducta de retur a instalației de acționare hidraulică.

Caracteristicile funcționale ale acționării hidraulice sînt :

— timp de deschidere a robinetului sub acțiunea cilindrului ..... 15—150 secunde,
— timp de închidere (frînare cilindru):
treapta I (70%) . . . . . .max. 20 s
treapta II (30%) . . . . . .min. 30 s

2.3. Particularitățile schemei de acționare electrică

Schema electrică de acționare este similară cu cea concepută pentru hidroagregatele de mică putere furnizate de I.C.M. Reșița. Totuși, schema are cîteva particularități prezentate în cele ce urmează. Astfel, s-a utilizat un releu de nivel cu electrozi (SNE — 3) în locul releelor de nivel cu plutitoare, prea costisitoare în raport cu costul turbinei.

Sincronizarea generatorului se face în funcție de timpul scurs din momentul primirii comenzii de pornire (lucru posibil deoarece de fiecare dată în urma unei comenzi de oprire turația turbinei se stabilizează în mod sigur la zero).

Închiderea admisiei apei în turbină se face prin pierderea alimentării supapei deblocabile electric, energia necesară închiderii fiind cea potențială a contragreutăților și ca urmare nu mai este necesară bateria de acumulatoare — element pretențios și nesigur în exploatarea fără personal permanent a MHC și CHEMP.

În schemă a fost introdus un releu lent de putere inversă care previne funcționarea în regim de motor în cazul înfundării grătarelor sau defectării releului de nivel.

Pentru compensarea tasărilor la cilindrul hidraulic de forță, din timp în timp se dă o scurtă comandă de corectare a poziției brațului cu contragreutăți, controlată prin intermediul limitatoarelor de cursă.

2.4. Particularități ale amenajării hidroenergetice

Schema amenajării hidroenergetice a MHC Grigorești este redată în figura 4.

Folosințele de bază ale lacului de acumulare Grigorești (pe pîrîul cu același nume) sînt irigațiile și piscicultura.

Grătarul (3) este al turbopompei, iar grătarul (4) este dublura pentru puetul de pește. Camera de umplere (5) are un prag fix (la o cotă impusă cu nivel minim pentru pisciculturâ). Conducta forțată (6) are lungimea de 160 m și diametrul de 500 mm. Între conductă și robinetul (7) D_n 250, acționat hidraulic cu contragreutate, a fost executată o reducție și a fost intercalat un compensator de montaj.

Turbopompa BRATEȘ 250 n-a fost livrată cu tub de aspirație. Confecționarea acestuia s-a făcut din țeavă Ø 508 × 7,14 cu reducție la Ø 273 × 7 și cot la 45° din țeavă Ø 273×7 pentru o înălțime de aspirație de H_s = 1,8 m, la atelierul de confecții metalice al executantului de lucrări. Îmbinarea cot-con constituie compensatorul aval cu etanșare pe inel „O" și garnitură plată.

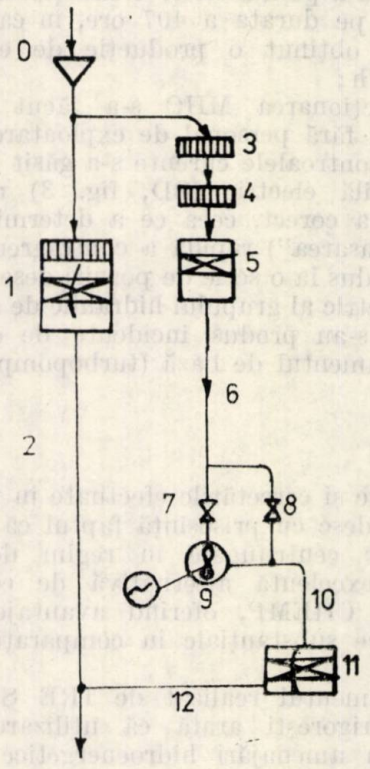


Fig. 4. Schema circuitului hidraulic al amenajării: 0 — lac de acumulare; 1 — călugăr reglaj nivel; 2 — conductă și canal golire; 3, 4 — grătare; 5 — camera de umplere cu vanete pe intrare; 6 — conducta forțată; 7 — robinet cu acționare hidraulică și contragreutate; 8 — robinet golire conductă forțată; 9 — microhidroagregat; 10 — aspirator turbină; 11 — bazin liniștire cu nivel reglabil; 12 — canal de fugă.

2.5. Rezultate obținute la punerea în funcțiune

La probele de punere în funcțiune a MHC Grigorești s-au obținut următoarele rezultate :

— Puterea maximă debitată în rețea P = = 16,1 kW corespunde, după căderea realizată, topogramei mașinii dată de către CCSITPV București.

Cu ajutorul vanetelor de la bazinul de liniștire s-a funcționat cu H_s (înălțimea de aspirație) între 1 și 1,8 m fără a se semnala zgomote caracteristice fenomenului de cavitație.

— La „aruncarea" sarcinii agregatul s-a ambalat la 1780 rot/min (turația nominală a microhidroagregatului este 1000 rot/min) pentru scurt timp, deoarece a intervenit închiderea automată a robinetului. Nu s-a produs lovitura de berbec sesizabilă auditiv decît la încercările cu contragreutatea pe capătul brațului.

— Mersul agregatului este liniștit și sigur nu a creat probleme de nici un fel).

2.6. Observații rezultate din exploatarea MHC Grigorești

Perioada de exploatare 1986 — 1987 caracterizată printr-un pronunțat deficit pluviometric nu a permis decît o funcționare experimentală pe durata a 407 ore, în care :

— s-a obținut o producție de energie de 6550 kWh ;

— funcționarea MHC s-a făcut în regim automat, fără personal de exploatare în tură ;

— la controalele curente s-a găsit că supapa deblocabilă electric (SD, fig. 3) nu etanșa totdeauna corect, ceea ce a determinat coborîrea („tasarea") rapidă a contragreutății, respectiv a dus la o serie de porniri dese ale motorului electric al grupului hidraulic de acționare ;

— nu s-au produs incidente de exploatare la echipamentul de bază (turbopompă și generator).

Concluzii

Studiile și cercetările efectuate în țara noastră dovedesc cu prisosință faptul că utilizarea pompelor centrifugale în regim de turbină este o excelentă alternativă de echipare a MHC și CHEMP, oferind avantaje tehnico-economice substanțiale în comparație cu alte soluții.

Experimentul realizat de IRE Suceava la MHC Grigorești arată că utilizarea acestei soluții în amenajări hidroenergetice de mică putere este practic posibilă și poate da rezultate bune.

Echipamentul cu pompă în regim de turbină asigură randamentele predeterminate în laborator, este robust și relativ ieftin, avantajos de aplicat și pentru puteri mai mari, mai ales la investițiile de MHC și CHEMP la care ponderea valorică a echipamentului este importantă (amenajări pe lîngă acumulări piscicole, pentru irigații, cămine de rupere a presiunii la alimentările cu apă etc.)

În vederea promovării acestei soluții în cadrul programului de punere în valoare a micropotențialului hidroenergetic al țării noastre, prin generalizarea rezultatelor obținute pînă în prezent, se impune necesitatea conceperii și experimentării unor sisteme fiabile și sigure pentru organul de închidere a turbopompelor.

De asemenea, este necesară o studiere și cercetare mai profundă a problemelor legate atît de ambalarea turbopompelor la ieșirea bruscă din sarcină, cît și de mărimea înălțimii de aspirație.

Bibliografie

[1] Schafer, L., Agostinelli, A. *Using pumps as small turbines.* În: Water Power, Dam Construction, November 1981.

[2] Medici, M. *Le Pompe.* Hoepli, Milano 1967.

[3] Sfichi, R. ș.a. *Utilizarea pompelor centrifugale în regim de microturbine pentru echiparea microhidrocentralelor.* În: Energetica 32, 1984, nr. 11, p. 520—525.

(Primit la 9 noiembrie 1987, acceptat la 9 martie 1988)

Considerații asupra conductelor privind depunerile aderente din apa de circulație

Mat. MARIA LIANA NICOLESCU, ing. LAZĂR LUPESCU, ing. NICOLAE NICOLESCU*

Descriptori : apă de circulație, depuneri pe conducte

CZ : 621.311 :621.187.12

Ca urmare a acțiunii de integrare a urmăririi în timp comportării centralelor electrice, în procesul de proiectare asistată de calculator a traseelor de conducte s-a întocmit un model matematic evoluat, ce a fost dezvoltat printr-un pachet de programe de calcul, utilizînd relații de calcul universal recunoscute. Totodată s-au căutat relații de calcul simplificatoare, foarte utile în condițiile în care proiectantul trebuie să aleagă o soluție rapidă la fața locului.

As the result for the survey integration of the power plants behaviour in the computer assisted ducts design an advanced mathematical model was set up and further developed by a software package using universally accepted computation relations. At the same time, simplifying computations were searched for, enabling the design engineer to give rapid in situ solutions.

Caracterizarea curgerii unui fluid se face cu ajutorul criteriului Reynolds (Re), grupare adimensională a unor proprietăți fizice, geometrice și funcționale ce descriu mișcarea fluidului și care reprezintă raportul dintre forțele de inerție și forțele de frecare vîscoasă pe unitatea de volum de fluid.

La o conductă cilindrică, criteriul Reynolds (Re) pentru curgerea unui fluid se poate scrie :

$$Re = w \cdot d/\nu = w \cdot d \cdot \rho/\eta = 4 \cdot Gs/\pi \cdot d \cdot \eta = 0{,}0003537 \cdot Gh/d \cdot \eta, \quad (1)$$

unde :

w este viteza medie a fluidului, în m/s ;

d — diametrul interior al conductei, în m ;

ρ — densitatea fluidului, în kg/m³ ;

* Mat. Maria Liana Nicolescu — profesoară la școala generală nr. 46 ; ing. Lazăr Lupescu, ing. Nicolae Nicolescu — Institutul de Studii și Proiectări Energetice, București

ν — viscozitatea cinematică a fluidului, în m^2/s;

η — viscozitatea dinamică a fluidului, în $N.s/m^2$;

Gs și *Gh* sînt debitele de fluid, în kg/s, și respectiv în kg/h.

La fluidele calde, puțin vîscoase (apă fierbinte, abur) viteza de curgere este mai mare decît viteza critică *Wcr*, care corespunde valorii Re · cr = 2320, mișcarea fiind turbulentă.

În acest regim turbulent profilul vitezei este foarte aplatisat (fig. 1) distribuția vitezei în

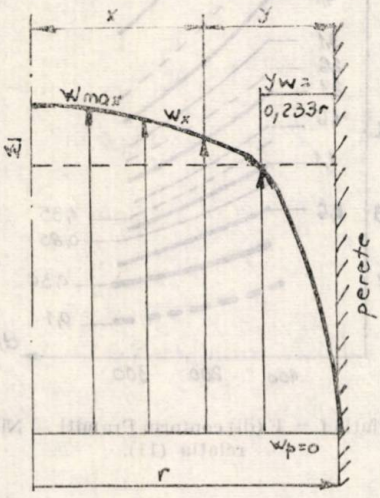


Fig. 1. Distribuția vitezei fluidului într-o conductă în regim turbulent.

secțiunea transversală stabilindu-se [1] cu ajutorul relației lui Altșul.

$$Ws/W_{max} = (Y/r)^{0,9\cdot\sqrt{f}} = (1 - X/r)^{0,9\cdot\sqrt{f}}, \quad (2)$$

unde:

f este coeficientul de pierderi liniare de presiune.

Determinarea coeficientului „*f*" în condițiile curgerii turbulente este complicată, implicînd luarea în considerare a stării pereților interiori ai conductei, stare caracterizată prin numerele Reynolds, limita Re 1 și Re 2.

$$\text{Re}\,1 \cong 10/\varepsilon; \quad \text{Re}\,2 \cong 560/\varepsilon; \quad \varepsilon = k/d, \quad (3)$$

în care:

ε este rugozitatea relativă;

k — rugozitatea absolută echivalentă a peretelui, în mm.

Coeficientul de frecare „*f*" se determină cu ajutorul numerelor Re 1 și Re 2, după cum urmează:

a. Conducta hidraulică netedă 2320 < Re < Re 1

$f = f$ (Re) — în acest caz înălțimea medie a asperităților *k* este mai mică decît grosimea stratului limită δ ($k < \delta$), lucrarea [3] recomanda utilizarea relației Prandtl-Karman:

$$1/\sqrt{f} = 2 \cdot \lg (\text{Re} \cdot \sqrt{f}/2{,}51). \quad (4)$$

b. Conducta hidraulică semirugoasă Re 1 < Re < < Re 2

$f = f$ (Re, ε) valoarea rugozității absolute *k* este comparabilă cu grosimea stratului limită δ ($k \approx \delta$); lucrarea [3] recomanda utilizarea relației Colebrook — White:

$$1/\sqrt{f} = -2 \cdot \lg (2{,}51/\text{Re} \cdot \sqrt{f} + \varepsilon/3{,}72). \quad (5)$$

c. Conducta hidraulică rugoasă Re > Re 2

$f = f$ (ε) valoarea rugozității absolute *k* este mai mare decît grosimea stratului limită δ ($k > \delta$); lucrarea [3] recomanda utilizarea relației Prandtl — Nikuradse (anexa 1):

$$1/\sqrt{f} = 2 \cdot \lg (3{,}72/\varepsilon). \quad (6)$$

Lucrarea [6] recomanda pentru calcule în domeniul conductelor cu pereți rugoși relația lui Sifrinson (anexa 2):

$$f = 0{,}11 \cdot \varepsilon^{0,25}. \quad (7)$$

Plecînd de relația lui Seveleev [3] autorii au determinat o relație comodă și simplă (anexa 3) pentru determinarea coeficientului de frecare „*f*" pentru conductele din oțel ce au funcționat 20 de ani în mediu de apă:

$$f = Cs/d^{0,3}, \quad (8)$$

unde:

Cs este un coeficient care ține seama de calitatea apei;

d — diametrul interior al conductei, în mm.

Cs = 0,15 pentru ape slab mineralizate și cu conținut foarte mic de substanțe organice (grupa I);

Cs = 0,20 pentru ape slab mineralizate cu conținut de substanțe organice de maximum 3 g/m^3 (grupa II);

Cs = 0,25 pentru ape cu conținut de substanțe organice cuprinse între 5 — 75 g/m^3 (grupa III);

Cs = 0,3 pentru ape cu conținut de substanțe organice cuprinse între 100 — 1500 g/m^3 (grupa IV).

Dacă în relația (8) se înlocuiești *Cs* cu 0,1668 se va obține relația lui Seveleev:

$$f = 0{,}021/d^{0,3} \quad (9)$$

în care *d* este diametrul interior al conductei, în m.

Valoarea rugozității absolute Kt în funcție de numărul de ani de exploatare se calculează cu ajutorul relației lui Moskov [10] și pe baza experiențelor lui Kamerstein [6]:

$$Kt = Ko + Ct.\ t, \qquad (10)$$

în care:

Ko este valoarea inițială a rugozității conductei noi, în mm;

Ct — viteza de creștere a proeminențelor rugozității, în mm/an, și care depinde de proprietățile chimice ale apei [6].

Pentru diametre interioare cuprinse între 150 — 300 mm valorile lui Ct [6] sînt:

— pentru grupa de calitate a apei I : 0,005 — — 0,055;

— pentru grupa de calitate a apei II : 0,055 — — 0,18;

— pentru grupa de calitate a apei III : 0,18 — — 0,25;

— pentru grupa de calitate a apei IV : 0,25 — — 0,40.

Avîndu-se în vedere faptul că în conductele de alimentare cu apă curgerea este turbulentă, pereții conductelor fiind hidraulic rugoși, s-au calculat variațiile coeficientului de frecare „f" utilizîndu-se relațiile lui Prandtl-Nikuradse (6), Sifrinson (7) și Seveleev modificată (8).

Pornind de la relația lui Prandtl-Nikuradse (6) și ținînd seama de evoluția rugozității absolute în timp, funcție de condițiile de exploatare, s-a obținut următoarea ecuație:

$$1/f = \lg^2 [3{,}72.\ d/(Ko + Ct.\ t)]^2. \qquad (11)$$

Dacă în relația (7) a lui Sifrinson recomandată în [6] se înlocuiește cu valoarea $\varepsilon = Kt/d$ și Kt cu valoarea din (10) se obține relația:

$$f = 0{,}11.\ [(Ko + Ct.\ t)/d]^{0{,}25}. \qquad (12)$$

Cu ajutorul acestor relații s-au determinat coeficienții de frecare pentru conducte cu diametrul interior cuprins între 150 — 300 mm (fig. 2 și 3) [12].

Avîndu-se în vedere faptul că pentru fiecare centrală se cunoaște calitatea apei utilizate, autorii au extins analiza și pentru dimensiuni ale diametrelor interioare sub 150 mm și peste 300 mm.

Analiza valorilor obținute utilizînd relațiile lui Prandtl-Nikuradse și Sifrinson, comparativ cu cea propusă de autori se poate face cu figura 4.

În curgerea turbulentă neizotermă a fluidelor prin țevi drepte, hidraulic netede, coeficientul

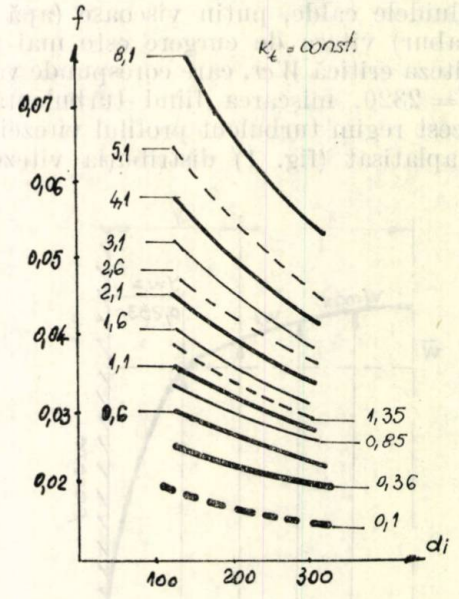


Fig. 2. Variația f = F (di) conform Prandtl — Nikuradse, relația (11).

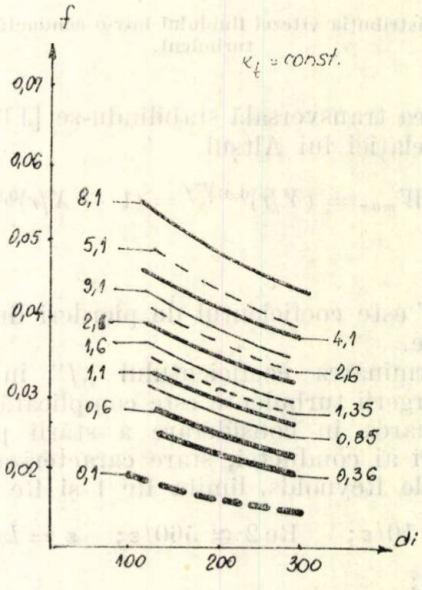


Fig. 3. Variația f = F(di) conform Sifrinson, relația (12).

de frecare „f" se poate stabili [5] cu relația lui Petuhov:

$$f\Delta t = f.\ (\eta p/\eta f)^n, \qquad (13)$$

în care:

ηp și ηf sînt vîscozitățile dinamice determinate la temperatura peretelui „tp" și respectiv la temperatura fluidului „tf";

n — coeficientul adiabatic care are valori diferenţiate pentru încălzire, respectiv răcirea fluidului.

n = 0,14 pentru încălzire şi $n = 0{,}28.Pr^{-0{,}25}$ pentru răcire.

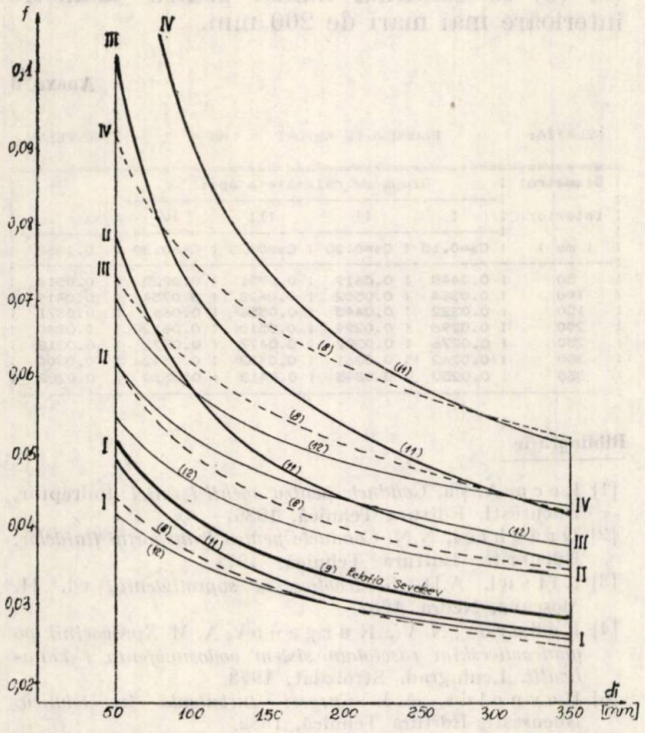


Fig. 4. Comparaţie între valorile f = F(di) pentru diferite grupe de calitate a apei, determinate cu relaţiile Prandtl-Nikuradse, Sifrinson şi LMN.

Dacă se utilizează criteriul lui Prandtl, care caracterizează raportul dintre cîmpul de viteză şi cîmpul de temperatură, şi ţinîndu-se seama de [4] se poate folosi relaţia lui Filonenko pentru determinarea valorilor lui „$f\Delta t$" :

$$f\Delta t = [1{,}82 \cdot \lg (\mathrm{Re} \cdot f \cdot \eta f/\eta p) - 1{,}64]^{-2}, \qquad (14)$$

precum şi relaţia lui Kreith :

$$f\Delta t = f \cdot (\eta p/\eta f)^{0{,}14}. \qquad (15)$$

Folosind relaţia (15) pentru conductele de alimentare cu apă ale cazanelor şi cu ajutorul tabelului 5.15 din [4] se obţin valorile :

tp=170°C şi p=15 MPa, $\eta p < 162 \cdot 10^{-6}$ N·s/m^2,

tf=180°C şi p=15 MPa, $\eta f = 152 \cdot 10^{-6}$ N·s/m^2;

rezultă :

$$f\Delta t = 1{,}00996 \,.\, f \cong 1{,}01 \,.\, f;$$

pentru tp=220°C şi p=23 MPa, $\eta p = 126{,}6 \cdot 10^{-6}$ N·s/m^2

tf=230°C şi p=23 MPa, $\eta f = 120{,}75 \cdot 10^{-6}$ N·s/m^2

rezultă :

$$f\Delta t = 1{,}00665 \cdot f \cong 1{,}01 \cdot f.$$

Avînd în vedere valorile rezultate din calcul ale coeficientului de frecare liniară neizotermă „$f\Delta t$", se poate neglija influenţa acestuia în calculul pierderilor de presiune ale conductelor de apă de alimentare ale cazanelor.

Pentru efectuarea calculului de pierderi de presiune pentru diferite trasee de conducte se utilizează în prezent programe de calcul bazate pe analiza prin elemente finite, această analiză fiind utilizată pentru rezolvarea unor probleme la limita de mare dificultate, suprapunînd peste efectele de transmisie a căldurii efectele hidrodinamice şi hidraulice [10], respectiv [11].

Analizînd pierderile liniare de presiune pentru o conductă care a funcţionat un număr de 20 de ani şi pe care au apărut depuneri aderente se poate determina creşterea relativă a pierderilor liniare de presiune cu ajutorul relaţiilor :

$$\Delta p_0(t = 0) = 0{,}5 \cdot 1 \cdot \rho \cdot f_0 \cdot W_0^2/d_0 = C \cdot f_0 \cdot W_0^2/d_0 \qquad (16)$$

$$\Delta p_1\ (t = 20) = C \cdot f_1 \cdot W_1^2/d1. \qquad (17)$$

Ştiind că : $d_1 = d_0 - 2 \cdot Ct \cdot t_1$ şi $W_1 = W_0[d_0/(/d_0 - 2 \cdot Ct \cdot t_1)]^2$, se determină raportul dintre pierderile de presiune ce apar într-o conductă utilizată 20 de ani şi într-o conductă nouă :

$$\Delta p_1 = \Delta p_0 \cdot (f_1/f_0) \cdot 1/(1 - 2 \cdot Ct \cdot t/d_0)^5. \qquad (18)$$

Pentru o conductă cu diametrul interior de 200 mm, care a funcţionat 20 de ani cu apă din grupa a III-a de calitate s-a măsurat o depunere de circa 7,5 — 8 mm, cu neregularităţi de 10 mm.

Conform figurii 2, pentru o conductă nouă cu diametrul interior de 200 mm valoarea lui $f_0 = 0{,}016678$, iar valoarea lui f_1 pentru apa din grupa a III-a de calitate după 20 de ani de funcţionare este de 0,053385.

Înlocuind în (18) se obţine :

$$\Delta p_1 = \Delta p_0 \cdot 0{,}053385/0{,}016678 \cdot 1/(1 - 2{,}8/200)^5 =$$

$$= 4{,}85666387 \cdot p_0.$$

Deoarece valoarea pierderilor de presiune liniare a crescut de aproape 5 ori, pompele de alimentare nu mai pot asigura debitul minim tehnic alimentării cazanului, fiind necesară spălarea chimică a conductelor.

Utilizînd relaţia (8) propusă de autori, s-a obţinut :

$$p_1 = p_0 \cdot 0{,}051007/0{,}016322 \cdot 1/(1 - 2{,}8/200)^5 =$$

$$= 4{,}74 \cdot p_0.$$

Concluzii

Pentru conductele la care apar depuneri aderente valoarea rugozităţii absolute a ţevilor noi are o mică influenţă asupra pierderilor de

dresiune ce apar în conducte după un număr de ore de funcționare.

În calcule rapide pierderea de presiune liniară datorată rugozității absolute a țevilor noi se neglijează.

Valabilitatea și corectitudinea relației (8) propuse de autori a fost demonstrată atît prin confruntare directă cu relațiile analitice și semianalitice consacrate, cît și prin măsurători directe efectuate la diferite centrale din țară.

Pentru apa din grupele de calitate I și II valorile ce se obțin cu relația (8) se încadrează între valorile obținute cu relațiile Prandtl-Nikuradse și Sifrinson pentru toată gama de diametre (50 — 360 mm), iar pentru grupele de calitate III și IV valorile obținute cu relația (8) se confirmă numai pentru diametre interioare mai mari de 200 mm.

Anexa 1

RELATIA PRANDTL - NIKURADSE

Grupa calitate apa		Kt	d 150	d 200	d 250	d 300	Obs.
		0	0.1	0.017809	0.016678	0.015874	0.015238	
		5	0.36	0.024562	0.022745	0.021472	0.020509	
I		10	0.6	0.028372	0.026125	0.024562	0.023386	
		20	1.1	0.034110	0.031211	0.029178	0.027647	
		5	0.85	0.031487	0.02880	0.027068	0.025710	
II		10	1.6	0.033665	0.035135	0.032715	0.030052	
		20	3.1	0.049145	0.044127	0.040742	0.038253	
		5	1.35	0.036527	0.033269	0.031036	0.029347	
III		10	2.6	0.045951	0.041425	0.033341	0.635977	
		20	5.1	0.060128	0.053385	0.048907	0.045653	
		5	2.1	0.042533	0.038466	0.035700	0.033656	
IV		10	4.1	0.054877	0.043999	0.045050	0.042160	
		20	8.1	0.073990	0.064872	0.058911	0.054631	

Anexa 2

RELATIA SIFRINSON

Grupa calitate apa		Kt	d 150	d 200	d 250	d 300	Obs.
		0	0.1	0.017675	0.016644	0.015556	0.014863	
		5	0.36	0.024347	0.022657	0.021428	0.020473	
I		10	0.6	0.027664	0.025744	0.024347	0.023262	
		20	1.1	0.032153	0.029956	0.028331	0.027056	
		5	0.85	0.030171	0.028086	0.026562	0.025376	
II		10	1.6	0.035345	0.032898	0.031113	0.029722	
		20	3.1	0.041704	0.038813	0.036707	0.035069	
		5	1.35	0.033881	0.031529	0.029819	0.028490	
III		10	2.6	0.039894	0.037143	0.035128	0.033498	
		20	5.1	0.047235	0.043957	0.041572	0.039720	
		5	2.1	0.037838	0.035212	0.033301	0.031813	
IV		10	4.1	0.044713	0.041623	0.039364	0.037604	
		20	8.1	0.053026	0.049347	0.046669	0.044590	

Anexa 3

RELATIA: PROPUSA DE AUTORI = LMN = SEVELEEV

Diametrul interior (mm)	Grupa de calitate a apei I Cs=0.15	II Cs=0.20	III Cs=0.25	IV Cs=0.30	0.1668
50	0.0448	0.0619	0.0731	0.0928	0.0516
100	0.0364	0.0502	0.0628	0.0754	0.0419
150	0.0322	0.0445	0.0556	0.0667	0.0371
200	0.0296	0.0399	0.0510	0.0612	0.0340
250	0.0276	0.0382	0.0477	0.0572	0.0318
300	0.0262	0.0361	0.0452	0.0542	0.0300
350	0.0250	0.0345	0.0413	0.0518	0.0288

Bibliografie

[1] L e c a, A. ș.a. *Conducte pentru agenți termici*. Îndreptar, București, Editura Tehnică, 1986.

[2] D r ă g h i c i, N.N. *Conducte pentru transportul fluidelor*. București, Editura Tehnică, 1971.

[3] A l t s u l, A.D. *Ghidravliceskie soprotivlenia*, ed. II. Moscova, Nedra, 1982.

[4] F e d o r o v, N. V., K u r g a n o v, A. M. *Spravocinik po ghidravliceskim rasciotam sistem vodosnabjenia i kanalizații*. Leningrad, Stroizdat, 1973.

[5] R e y n o l d s, A.J. *Curgeri turbulente în tehnică*. București, Editura Tehnică, 1982.

[6] I d e l c i k, I.E. *Îndrumător pentru calculul rezistențelor hidraulice*. București, Editura Tehnică, 1984.

[7] * * * ASME — ANSI B 31—1/ed. 1982.

[8] * * * *Handbuch für den Rohrleitungsbau*. ed. IV, Berlin VEB Verlag, 1972.

[9] * * * Commission Economique pour l'Europe „Comité de l'énergie électriques — Groupe d'experts des centrales électriques''. *Nettoyage continu des condenseurs et des eaux alimentaires dans les centrales thermiques* (octombrie 1984).

[10] C o o k, D.R. *Eigenvalue Problems with a Mixed Plate Element*. In: AIAAJ nr. 5/1969.

11] A k i n, E. J., F e n t o n, L. D., S t o d d o r t, T.C.W. *The Finite Element Method: A Bibliography of Its Theory and Applications at the University of Tennessee*.

(Primit la 6 ianuarie 1988, acceptat la 20 ianuarie 1988)

Centrul de pregătire CANDU pentru România — Sinteza raportului româno-canadian privind recrutarea, pregătirea și calificarea personalului de exploatare din centralele nuclearoelectrice

Dr. ing. MIHAI POP, ing. ALEXANDRU NEAȚU, dr. ing. SEBASTIAN IONESCU*

Descriptori: centrale nuclearoelectrice, calificare personal

CZ: 621.311.25 :621.039.007

În articol se face o prezentare pe scurt a problemelor esențiale studiate în cadrul întîlnirii de lucru româno-canadiene din septembrie 1987, referitoare la organizarea CNE Cernavodă și recrutarea personalului, cerințele privind pregătirea și calificarea acestuia, centrul de pregătire a personalului de la Cernavodă și calificarea instructorilor, evidențiindu-se unele recomandări cuprinse în raportul comun.

The paper makes a brief presentation of the essential issues approached within the Romanian — Canadian working meetings (September, 1987) on the Cernavoda nuclear power plant organization and staff selection, training, requirements and instructor training, with emphasis on several recommendations included in the joint report.

Introducere

Pentru a identifica și studia problemele esențiale privind recrutarea, pregătirea și calificarea personalului destinat să asigure exploatarea, în condiții de securitate, siguranță și eficiență, a unităților de tip CANDU — 700 de la CNE Cernavodă și din centralele care se vor realiza în viitor în țara noastră, un grup de experți din România și Canada au participat la o întîlnire de lucru la sediul ISPE — București între 15 și 25 septembrie 1987. Programul lucrărilor a cuprins următoarele teme principale:

— organizarea CNE Cernavodă și recrutarea personalului;

— cerințe pentru pregătirea personalului și planificarea acestei activități;

— simulatoare de instruire;

— centrul de pregătire a personalului și calificarea instructorilor.

Rezultatele studiului au fost consemnate într-un raport comun româno-canadian intitulat „*Centrul de pregătire CANDU pentru România*" **.

Scopul principal al raportului [1] este de a oferi un document de referință pentru luarea deciziilor necesare organizării CNE Cernavodă, a recrutării și pregătirii personalului de exploatare din această centrală.

Raportul comun evidențiază că pregătirea personalului din centralele nuclearoelectrice reprezintă o investiție majoră ca timp și resurse. Pregătirea personalului este multilaterală, iar calitatea acestuia trebuie să fie de înalt nivel la sfîrșitul perioadei de instruire. În vederea asigurării unor condiții favorabile de recrutare este esențial să fie create posibilități de cointeresare materială corespunzătoare. În Canada salariile pentru personalul centralelor nuclearoelectrice CANDU sînt cu aproximativ 30% mai mari decît ale personalului din centralele clasice. De asemenea, beneficiile investițiilor din domeniul pregătirii personalului centralelor nuclearoelectrice nu se pot realiza decît în condițiile în care acest personal rămîne să lucreze în centrală un timp cît mai îndelungat. De aceea se consideră importante și măsurile de natură să asigure stabilitatea acestui personal.

1. Organizarea CNE Cernavodă și recrutarea personalului

În cadrul întîlnirii de lucru româno-canadiene s-au examinat și dezvoltat în continuare cerințele, recomandările și justificările referitoare la structura organizatorică, recrutarea și pregătirea personalului CNE Cernavodă 5 × 700 MW.

* Dr. ing. Mihai Pop, dr. ing. Sebastian Ionescu — Institutul de Studii și Proiectări Energetice, București, ing. Alexandru Neațu — Direcția Organizare, Control, Personal, Învățămînt — M.E.E.

** Studiul a fost realizat sub conducerea dr. ing. Mihai Pop, directorul I.S.P.E. — România și A.I. Smith, Business Development, AECL — Canada, de specialiști din Canada (R.B. Finaly — AECL, R. Mckenzie — N.B Electric Power Commission și J. Smith — Maritime Nuclear) și din România (reprezentanți ai MEE, ISPE, IN Cernavodă, Institutul Politehnic București, Centrul de Perfecționare a Lucrătorilor din MEE, ICEMENERG, IRNE — Măgurele, IRNE-Pitești, Institutul de Tehnică de Calcul și Informatică).

Modalitatea de lucru a constat în folosirea experienței românești în exploatarea centralelor clasice, la care s-au adăugat date privind experiența canadiană în domeniul centralelor nuclearoelectrice CANDU, luîndu-se în considerare diferențele între practica românească și cea canadiană în domeniul învățămîntului, pregătirii și al muncii. În cadrul raportului s-au reținut unele elemente importante referitoare la structura organizatorică și atribuțiile personalului de exploatare operativ (șefi de tură, operatori din camera de comandă, operatori din instalații, grupele de manipulare a combustibilului nuclear și de protecție contra radiațiilor), personalului de întreținere și personalului de specialitate tehnic. S-au făcut propuneri privind îmbunătățirea structurii organizatorice a IN Cernavodă (introducerea unui director adjunct de producție care conduce direct activitatea de exploatare și întreținere, a operatorilor principali din instalații, a unui specialist șef cu probleme de protecție nucleară, a unui director al centrului de pregătire a personalului de la Cernavodă, creșterea numărului de personal din compartimentul de securitate nucleară și protecția muncii etc.).

Funcțiile din organigrama de personal au fost examinate din punctul de vedere al pregătirii de bază și experienței necesare, efectuîndu-se recomandări în acest sens.

2. Cerințe privind pregătirea personalului

Un alt obiectiv al studiului a constat în analiza programelor de pregătire pentru personalul de exploatare, întreținere și tehnic, precizîndu-se duratele de pregătire (de exemplu : 42 de luni pentru șefii de tură și operatorii principali, 36 de luni pentru fizicienii din tură, 24 — 30 luni pentru operatorii-muncitori, 12 — 24 luni pentru inginerii de întreținere și din serviciile tehnice etc.), precum și conținutul etapelor de pregătire.

Programele de pregătire prevăd însușirea de cunoștințe și deprinderi în următoarele domenii :

— noțiuni științifice fundamentale ;
— principii de funcționare a echipamentelor ;
— sisteme/subsisteme ale centralei nuclearoelectrice ;
— practica de exploatare în regimuri normale și de avarie ;
— experiența în tură ;
— protecția contra radiațiilor ;
— asistență la operare.

În raportul româno-canadian sînt anexate programele de pregătire (etape, conținut, durate) pentru fiecare funcție a personalului de exploatare și întreținere din centrală.

În cele ce urmează se prezintă ca exemplificare programul de pregătire pentru un șef de tură, comparativ cu cel pentru un operator-muncitor :

Capitole ale programelor de pregătire	Durata (luni) Șef de tură	Operator-muncitor
• Pregătire generală:		
— noțiuni științifice fundamentale	6	2—3
— principii de funcționare a echipamentelor	5	3—4
• Sisteme/subsisteme din centrală:		
— pregătire teoretică	4	2—3
— practică în centrală	3	2—3
— practică la unitățile furnizoare	1	1
— practică la unitățile de montaj	1	1
• Practica de exploatare:		
— Proceduri de exploatare în regimuri normale:		
— pregătire teoretică	2	1
— pregătire practică	3	1—2
— Proceduri de exploatare în cazuri de avarie:		
— pregătire teoretică	2	1
— pregătire practică	3	1—2
• Experiența în ture	5	3
• Protecția conta radiațiilor	3	3
• Asistența la operare:		
— dubla pilotare	2	3
— copilotare	2	—
TOTAL	42	24—30

Se poate observa că :

— pregătirea generală este de durată practic dublă pentru șefii de tură, fiind efectuată de aceștia la centrul național (în prezent la Institutul Politehnic București), respectiv la centrul de pregătire de la Cernavodă pentru operatorii-muncitori ;

— pregătirea teoretică și practică este de nivel mai înalt pentru șefii de tură în domeniul cunoașterii sistemelor/subsistemelor și proceselor tehnologice din centrală, ca arie de cuprindere și nivel de aprofundare ;

— practica de exploatare pentru dezvoltarea cunoștințelor și deprinderilor este net superioară pentru șefii de tură (10 luni, față de 4—6 luni), cu folosirea simulatorului complex de către șefii de tură circa 40% din cele 6 luni de pregătire practică ;

— șefii de tură vor fi examinați și autorizați la sfîrșitul perioadei de pregătire de către ISCAN-ACN, comparativ cu operatorii — muncitori care vor fi autorizați de IN Cernavodă.

3. Centrul de pregătire a personalului și calificarea instructorilor

În conformitate cu prevederile anterioare, instruirea personalului de exploatare din centralele nuclearoelectrice și antrenarea — reciclarea acestuia urmează să se efectueze la :

— un centru național de pregătire cu sediul în București, în care se va efectua instruirea generală a personalului cu studii superioare și a maiștrilor ;

—un centru local de pregătire, cu sediul în orașul Cernavodă, care va asigura instruirea de specialitate și practica de exploatare pentru personalul cu studii superioare și maiștri, precum și instruirea în domenii generale și specifice a personalului cu studii medii.

Studiul româno-canadian a examinat cu prioritate activitățile care se vor desfășura în cadrul centrului de pregătire de la Cernavodă, făcînd recomandări privind dotarea acestuia cu simulator complex (full — scope), microsimulatoare, ateliere și laboratoare, săli de curs, dotări sociale etc., inclusiv cu mijloacele necesare pentru instruirea practică de specialitate a personalului (manuale, mijloace de instruire audio-vizuale, echipamente și dotări pentru ateliere și laboratoare etc.).

Raportul a analizat calificarea necesară pentru instructorii centrului de pregătire și a făcut recomandări în vederea creșterii disponibilității în fiecare etapă de pregătire a grupei de instructori.

* * *

Raportul comun este rezultatul unui program de lucru intensiv desfășurat de către grupul de experți din România și Canada. Aplicarea în practică a rezultatelor și concluziilor la care s-a ajuns oferă garanția că organizarea centralei, recrutarea, pregătirea și calificarea personalului vor aduce o contribuție importantă la asigurarea unui înalt nivel al performanțelor de exploatare a centralelor nuclearoelectrice românești de tip CANDU.

Bibliografie

[1] * * * *Centrul de pregătire CANDU pentru România.* Raport asupra studiului comun româno-canadian, București, septembrie 1987.

(Primit la 16 februarie 1988, aprobat la 9 martie 1988)

NOUTĂȚI

Din energetica mondială

● Institutul de Cercetare pentru Energii Înalte din Coreea (KAERI) și AECL au semnat un contract în perioada 1—5.02.1988 la Ottawa referitor la construirea de către KAERI în Coreea a reactorului nuclear pentru cercetare cu scopuri multiple. Reactorul va fi finalizat în 1991 și va fi destinat atît cercetărilor de bază și aplicative din ingineria și știința nucleară, cît și producției de izotopi radioactivi pentru aplicații industriale și medicale.

Prin acest contract, evaluat la 20 milioane $, AECL și KAERI vor desfășura o activitate strînsă de cercetare, dezvoltare și proiectare de detaliu, asociate reactorului.

AECL va furniza, de asemenea, echipamentul specific ce va fi construit în industria nucleară din Canada.

● Guvernul din Canada a autorizat o construcție de un milion de dolari pentru lucrările Congresului al 14-lea al Conferinței Mondiale a Energiei, ce va avea loc la Montreal, în septembrie 1989. Tema Congresului, care va dura două săptămîni, va fi *„Energia în viitor"*. Se estimează participarea a circa 3000 delegați.

● O altă manifestare unde este de așteptat să participe mai mult de 3000 delegați este Congresul Anual al Calității al Societății Americane pentru Controlul Calității, care se va ține în Toronto, în perioada 8—10 mai 1989. Tema va fi *Perfecționarea continuă (opțiuni pentru anii nouăzeci).*

● 1/6 din electricitatea lumii, în prezent, provine din centralele nucleare. În conformitate cu date provenite de la Agenția Internațională a Energiei Atomice (IAEA) capacitatea energetică nucleară va crește cu 28% pînă în 1990 și cu încă 16% pînă în 1995. În anul 1987 capacitatea energetică nucleară mondială a crescut cu 8%. Din cifrele indicate, preliminar, de IAEA rezultă că la sfîrșitul anului 1987, capacitatea de producere a energiei electrice în centralele nucleare în funcțiune totaliza 295 000 MW și provenea de la 416 reactoare.

Țara cu ponderea cea mai mare în utilizarea energiei electrice de origine nucleară, aproximativ 76% din totalul din 1987, era Franța.

Începînd din 1973, centralele nuclearoelectrice din lumea întreagă au înlocuit aproape 11 miliarde barili de petrol și aproximativ 1 miliard tone cărbune. O analiză făcută de firma consultativă „Science Concepts", arată că valoarea petrolului înlocuit de centralele nucleare este aproximativ 300 miliarde $ la prețul de vînzare OPEC.

● Natura furnizează populației o foarte mare parte din radiațiile ionizante, chiar mai mult decît s-a crezut pînă acum. Un studiu întreprins de U.S. National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP) a concluzionat că, în medie, un american primește anual circa 360 milirem (3,6 milisievert) de la toate sursele existente. Din cei 360 milirem, mai mult de 80% provin din natură, ceea ce constituie, pe departe, o valoare mult mai mare decît s-a considerat cu zece ani în urmă ca fiind contribuția reactivității naturale, cînd media de expunere la radioactivitatea existentă în natură era considerată de 100 milirem pe an. Această creștere este rezultatul analizelor care cuantifică riscul de expunere la gazul radon, care, după afirmațiile NCRP-ului, constituie aproximativ 2/3 din cantitatea totală de radioactivitate naturală.

Sursele artificiale de radiație sînt responsabile pentru circa 18% din totalul expunerilor americanilor, aproape întreaga cantitate provenind de la procedurile medicale.

Din acestea produsele industriale, ca detectorii de fum și televizoarele intervin în doza de iradiere cu 3%, în timp ce cantitatea provenită de la ciclul combustibilului nuclear și centrala nucleară reprezintă 0,1%.

● Profesorul Terence Lee de la Universitatea din Surrey, a subliniat recent diferența dintre riscurile reale și cele estimate în activitățile umane. Unele activități care prezintă un risc ridicat rămîn neluate în considerare, în timp ce altele care prezintă un risc scăzut sînt mult exagerate. Cîteva exemple: *„Emisiile radioactive de la marile depozite de cărbune minier și zgură, depășesc emisiile radioactive de la depozitele de reziduuri nucleare. În timp ce nu există victime atribuite direct centralelor nucleare în decada* 1973—1983 *s-au înregistrat* 146 *de victime datorate fotbalului și rugby-lui"*.

Profesorul Lee mai face o constatare, și anume faptul că grupurile extremiste antinucleare și mijloacele lor de propagandă nu se bucură de o largă audiență în public.

● Energia nucleară nu asigură Franței numai cea mai ieftină energie electrică din Europa, dar îi reduce în mod considerabil și scăpările de bioxid de sulf în atmosferă. La o creștere cu 40% între anii 1980—1986 a producției energiei electrice prin CNE, a rezultat o scădere cu 50% a SO_2.

(Informațiile au fost preluate din buletinul „AELC CANDU OPERATIONS" din 05.02.1988)

Aspecte privind funcționarea descărcătoarelor în prezența supratensiunilor de comutație și temporare. Posibilități de reducere a nivelurilor de izolație ale echipamentelor electrice prin utilizarea descărcătoarelor moderne pe bază de oxizi metalici

Dr. ing. FĂNICĂ VATRĂ*

Descriptori: descărcătoare, supratensiuni de comutație, izolație

CZ: 621.311.1 : 621.316.93

În articol se prezintă unele aspecte ale funcționării descărcătoarelor în prezența supratensiunilor de comutație și temporare, evidențiindu-se posibilitățile de reducere a nivelurilor de izolație în rețelele de înaltă și foarte înaltă tensiune, precum și unele avantaje economice rezultate prin utilizarea descărcătoarelor moderne pe bază de oxizi metalici. Se prezintă, de asemenea, unele probleme de modelare matematică a descărcătoarelor, precum și un model matematic al acestora, utilizabil în programele de calcul al supratensiunilor în rețelele de înaltă și foarte înaltă tensiune.

The paper presents several aspects of arrester operation under switching and temporary overvoltages, with emphasis on the possibilities of reducing insulation levels in high and very high voltage networks, as well as several economical advantages resulting by utilisation of modern arresters based on metal oxides. Several arrester mathematical modelling aspects, as well as an arrester mathematical model, usable within the computation programmes of overvoltages occurring at high and very high voltage networks are also presented.

Considerații generale

În decursul anilor constructorii de echipamente au adus o serie de îmbunătățiri descărcătoarelor (eclatoare cu suflaj magnetic foarte eficiente, rezistoare pe bază de oxizi metalici), îmbunătățiri ce permit o schimbare în principiile de alegere a descărcătoarelor și de coordonare a izolației rețelelor de înaltă și foarte înaltă tensiune.

Coordonarea izolației constă în alegerea rigidității dielectrice a echipamentelor în raport cu tensiunile care pot apărea în rețelele electrice, pentru care sînt destinate acestea, luîndu-se în considerare caracteristicile aparatelor de protecție disponibile. Ea are drept scop reducerea la un nivel acceptabil, din punct de vedere economic și ca exploatare, a probabilității ca solicitările electrice aplicate echipamentului să provoace deteriorarea acestuia sau să afecteze continuitatea în funcționare.

În cazul rețelelor de foarte înaltă tensiune, prin coordonarea izolației se urmărește corelarea nivelurilor de izolație ale echipamentelor și nivelului de protecție asigurat de descărcătoare în raport cu supratensiunile de comutație. Alegerea nivelului de izolație se face prin verificarea condiției ca riscul de defectare la supratensiuni de comutație între fază și pămînt să fie mai mic decît 10^{-4}.

În rețelele de foarte înaltă tensiune, din considerente economice, descărcătoarele sînt folosite „în prima linie de apărare" a echipamentelor. În această concepție limitarea valorilor supratensiunilor de comutație, în funcție de nivelul de izolație al echipamentelor alese, se lasă în sarcina descărcătoarelor, în care situație numărul de solicitări ale acestora este relativ ridicat și performanțele lor trebuie să asigure posibilitatea de a suporta aceste solicitări.

În scopul coordonării și alegerii optime din punct de vedere economic a izolației, este necesar să se determine cît mai exact valorile supratensiunilor de comutație posibil să apară în diferitele ipoteze de funcționare ale rețelei electrice și să se analizeze posibilitățile de reducere a acestor supratensiuni prin funcționarea diferitelor tipuri de descărcătoare.

Supratensiunile de comutație sînt însoțite în majoritatea cazurilor de supratensiuni temporare, care, în anumite situații, pot avea amplitudini și durate mari. Pentru funcționarea cu succes a descărcătoarelor este necesar ca valoarea maximă a supratensiunilor temporare să fie mai mică decît tensiunea lor de

* Dr. ing. Fănică Vatră — Institutul de Studii și Proiectări Energetice, București.

stingere, deoarece altfel s-ar depăși capacitatea lor de disipare a energiei și s-ar deteriora. Deoarece descărcătoarele clasice (cu rezistoare pe bază de carbură de siliciu) au o capacitate relativ redusă de disipare a energiei, ele nu pot funcționa în prezența supratensiunilor temporare, supratensiunile temporare fiind elemente determinante în alegerea descărcătoarelor clasice.

Dat fiind performanțele pe care le realizează, descărcătoarele moderne cu rezistoare pe bază de oxizi metalici (niveluri de protecție reduse, capacitate mare de disipare a energiei și siguranță în funcționare), acestea pot fi folosite în rețelele de înaltă și foarte înaltă tensiune, în „prima linie de apărare" a echipamentelor pentru reducerea valorilor supratensiunilor de comutație la asemenea valori încît să se folosească echipamente cu niveluri de izolație mai coborîte decît echipamentele actuale. De asemenea, aceste descărcătoare pot fi folosite pentru reducerea, pe durate limitate de timp, a supratensiunilor temporare sau pentru eliminarea lor.

1. Modelarea analitică a descărcătoarelor

Un descărcător este alcătuit dintr-un ansamblu de rezistențe neliniare, eclatoare cu sau fără suflaj magnetic și circuite de egalizare destinate asigurării unui control precis al tensiunii pe descărcător. Tensiunea care se aplică descărcătorului este distribuită între rezistențele neliniare și eclatoare.

Pentru un calcul analitic, la un descărcător trebuie modelați în principal trei parametri, și anume : caracteristica de amorsare, tensiunea pe rezistențele neliniare și tensiunea pe eclatoare.

a) Caracteristica de amorsare se modelează relativ simplu printr-o impedanță infinită atît timp cît tensiunea la bornele descărcătorului este inferioară unei anumite valori (tensiunea de amorsare) și o impedanță zero după amorsare.

Tensiunea de amorsare este diferită în funcție de natura impulsului ce se aplică și variază în funcție de numărul de amorsări repetate. Cu foarte rare excepții, fabricile constructoare nu dau informații cu privire la variația caracteristicii de amorsare în funcție de numărul de amorsări repetate.

b) Tensiunea pe rezistența neliniară se modelează printr-o caracteristică neliniară dependentă de curent (fig. 1), liniarizată prin segmente de dreaptă. În calcule are importanță și modificarea caracteristicii tensiune-curent a rezistențelor neliniare în cazul amorsărilor repetate, dar pînă în prezent sînt disponibile puține date referitoare la această modificare a caracteristicii.

c) Tensiunea pe eclatoare depinde de lungimea arcului electric, de amplitudinea curentului prin descărcător și de capacitatea de răcire a eclatoarelor, caracteristica tensiune-curent a eclatorului fiind o funcție neliniară de timp și de panta de creștere a curentului prin arcul

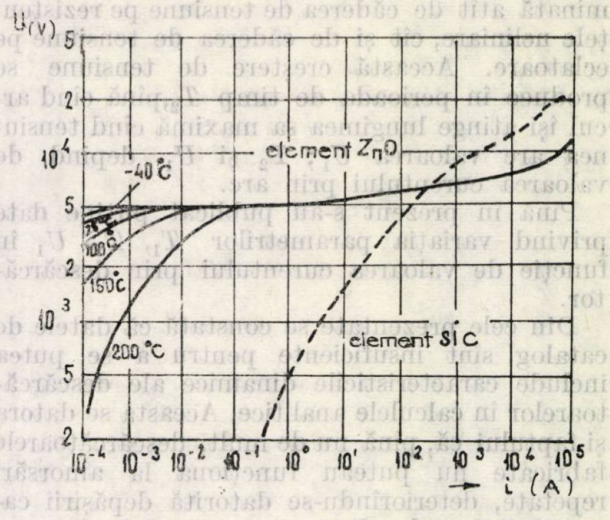


Fig. 1 Caracteristicile neliniare ale rezistoarelor din carbură de siliciu și din oxizi metalici.

eclatorului (fig. 2). Căderea de tensiune pe eclatoare este neglijabilă pe parcursul unei anumite perioade de timp T_1 după amorsare. În această perioadă arcul electric nu se întinde, rămînînd la lungimea sa inițială. iar tensiunea pe descăr-

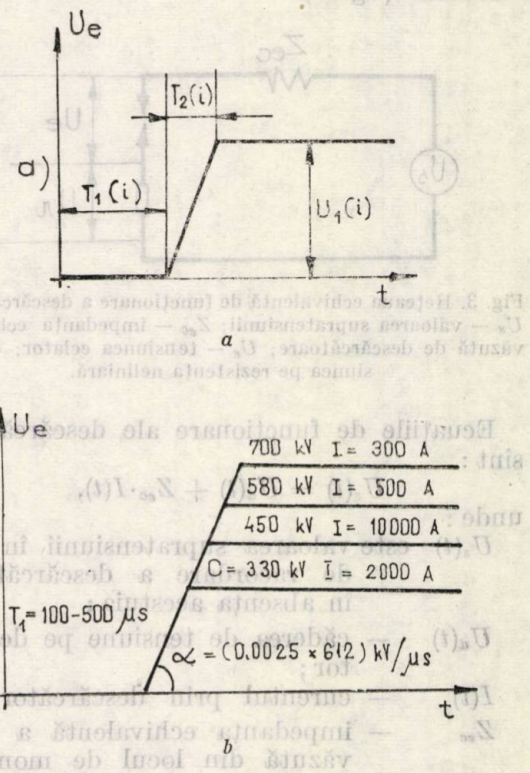


Fig. 2. Caracteristica tensiune-timp a eclatorului: a — dependența parametrilor funcție de curentul prin descărcător; b — exemplu de eclator al unui descărcător pentru rețea de 750 kV, tensiunea nominală de 612 kV_{ef}.

cător este determinată numai de căderea de tensiune pe rezistențele neliniare. După scurgerea timpului T_1, tensiunea pe eclator începe să crească, tensiunea totală fiind determinată atît de căderea de tensiune pe rezistențele neliniare, cît și de căderea de tensiune pe eclatoare. Această creștere de tensiune se produce în perioada de timp T_2,pînă cînd arcul își atinge lungimea sa maximă cînd tensiunea are valoarea U_1; T_2 și U_1 depind de valoarea curentului prin arc.

Pînă în prezent s-au publicat puține date privind variația parametrilor T_1, T_2, U_1 în funcție de valoarea curentului prin descărcător.

Din cele prezentate se constată că datele de catalog sînt insuficiente pentru a se putea include caracteristicile dinamice ale descărcătoarelor în calculele analitice. Aceasta se datora și faptului că, pînă nu de mult, descărcătoarele fabricate nu puteau funcționa la amorsări repetate, deteriorîndu-se datorită depășirii capacității lor de disipare a energiei. Cunoașterea caracteristicilor dinamice este necesară pentru a se putea folosi la maximum posibilitățile descărcătoarelor moderne (cu performanțe ridicate) în vederea reducerii nivelurilor de protecție și a nivelurilor de izolație ale echipamentelor.

Introducerea modelului de descărcător în calculul analitic se face folosind teorema Thevenin (fig. 3).

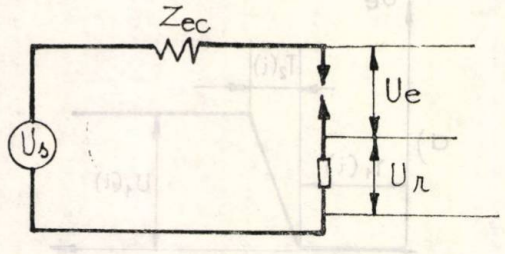


Fig. 3. Rețeaua echivalentă de funcționare a descărcătorului: U_s — valoarea supratensiunii; Z_{ec} — impedanța echivalentă văzută de descărcătoare; U_e — tensiunea eclator; U_r — tensiunea pe rezistența neliniară.

Ecuațiile de funcționare ale descărcătorului sînt:

$$U_s(t) = U_d(t) + Z_{ec} \cdot I(t), \qquad (1)$$

unde:

$U_s(t)$ este valoarea supratensiunii în nodul de racordare a descărcătorului, în absența acestuia;

$U_d(t)$ — căderea de tensiune pe descărcător;

$I(t)$ — curentul prin descărcător;

Z_{ec} — impedanța echivalentă a rețelei, văzută din locul de montare a descărcătorului, dată de relația:

$$Z_{ec} = 1 \Big/ \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{Z_i}, \qquad (2)$$

unde:

Z_i este impedanța legăturii i în nodul cu descărcător.

Ținînd seama că tensiunea pe descărcător este suma căderilor de tensiune pe eclatoare și pe rezistențele neliniare, ecuația (1) devine:

$$U_s(t) - Z_{ec} \cdot I(t) = U_e(t, I) + U_r(I). \qquad (3)$$

Rezolvarea ecuației (3) se poate face analitic și grafic. De obicei caracteristicile neliniare ale rezistențelor și eclatoarelor se liniarizează printr-un număr de segmente care să aproximeze cît mai corect partea neliniară.

Curentul prin descărcător se obține cu relația:

$$I(t) = \frac{U_s(t) - U_d(t)}{Z_{ec}}, \qquad (4)$$

iar energia necesară de disipat de descărcător la o amorsare se determină cu relația:

$$W_i = \int_0^{T_s} U_d(t) \cdot I(t) \cdot \mathrm{d}t, \qquad (5)$$

unde T_s este timpul de funcționare a descărcătorului sub acțiunea supratensiunii și este durata de timp de la amorsare pînă la stingerea arcului electric.

Ținînd seama că energia este disipată atît de eclatoare (W_{ei}), cît și de rezistențele neliniare (W_{ri}) se poate scrie relația:

$$W_i = W_{ei} + W_{ri} = \int_0^{T_s} U_e(t, I) \cdot I(I)\mathrm{d}t + \int_0^{T_s} U_r(I) \cdot I(t)\,\mathrm{d}t. \qquad (6)$$

În cazul unor amorsări repetate, energia totală se determină cu relația:

$$W_d = \sum_{i=1}^{k} W_i, \qquad (7)$$

unde k reprezintă numărul de amorsări repetate.

Această energie trebuie să fie mai mică decît valoarea maxim admisibilă a descărcătorului, dată de catalogul de fabricație.

Analizînd relațiile prezentate se constată că tensiunea pe descărcător (de fapt nivelul de protecție asigurat de descărcător), curentul prin descărcător și energia necesară de disipat depind de amplitudinea și durata supraten-

siunilor, impedanța echivalentă a rețelei și de caracteristicile neliniare ale rezistoarelor și eclatoarelor. Energia necesară de disipat de descărcător este cu atît mai mare cu cît amplitudinea și durata supratensiunilor este mai mare și cu cît impedanța echivalentă a rețelei este mai mică.

2. Prezentarea unor rezultate de calcul

Pentru a se putea analiza modul în care funcționează descărcătoarele în prezența supratensiunilor de comutație și temporare a fost nevoie și s-a elaborat un program complex de calcul al acestor supratensiuni în care s-a modelat și descărcătorul. Cu ajutorul acestui program s-au efectuat calcule în principal pentru LEA de 750 kV, cu și fără funcționarea diferitelor tipuri de descărcătoare clasice și pe bază de oxizi metalici *.

Pentru a se pune mai ușor în evidență funcționarea diferitelor tipuri de descărcătoare, avantajele și dezavantajele lor, în calcule s-au considerat unele condiții extreme, și anume: lungimea mare de linie (520 km), putere de scurtcircuit relativ mică pentru o rețea de 750 kV (10 GVA), absența oricărui mijloc de limitare a supratensiunilor (rezistențe de preinserție, compensare etc.). De asemenea nu s-a considerat în calcule influența fenomenului corona și a curbei de magnetizare a transformatorului de la extremitatea de alimentare a LEA, care reduc valorile supratensiunilor.

Considerarea acestor condiții extreme a condus la valori mari de supratensiuni de comutație (2,97 u.r.) în cazul în care nu funcționează descărcătorul (fig. 4). Această valoare de supratensiune este însă inacceptabilă pentru o rețea de 750 kV.

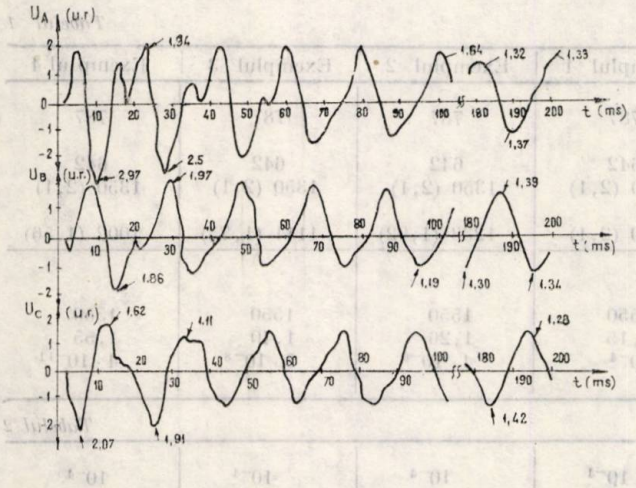


Fig. 4. Supratensiunile pe cele trei faze în cazul conectări în gol a unei LEA de 750 kV, 520 km, în absența descărcătoarelor și a oricărui mijloc de reducere a supratensiunilor

* Rezultatele de calcul sînt prezentate detaliat în:

V a t r ă, F. *Contribuții la studiul supratensiunilor temporare datorate defectelor la pămînt și închiderii nesimultane a fazelor.* Teză de doctorat, IPB, 1985.

În figurile 5 și 6 se prezintă diagramele supratensiunilor pe cele trei faze, la extremitatea în gol a LEA, în cazul conectării LEA în gol, în condiții similare cu cele din figura 4, dar cu funcționarea unor descărcătoare ASEA de tip clasic (fig. 5) și pe bază de oxizi metalici (fig. 6).

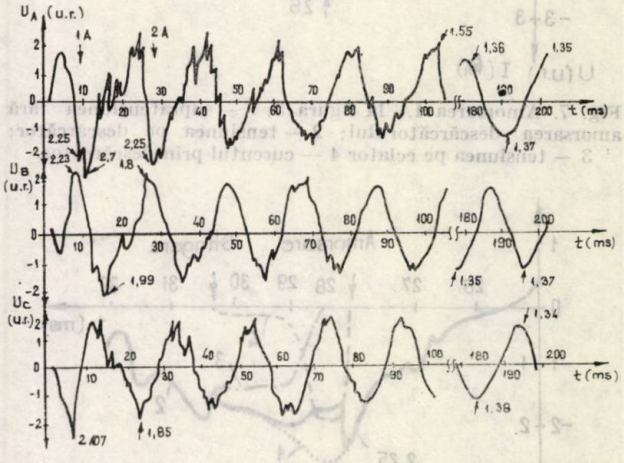


Fig. 5. Supratensiunile pe cele trei faze în cazul conectării în gol a unei LEA de 750 kV, 520 km, cu funcționarea unui descărcător ASEA tip clasic.

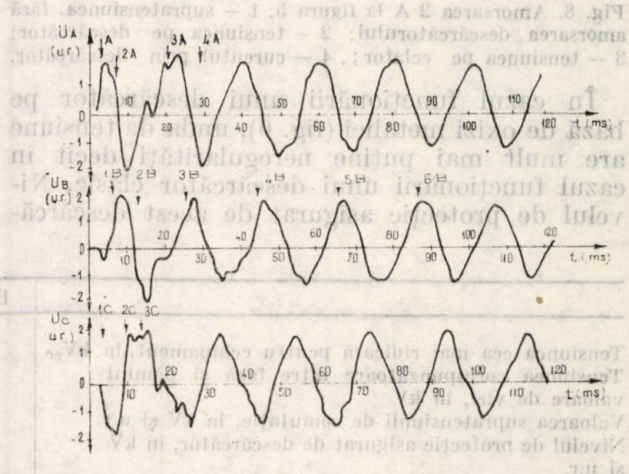


Fig. 6. Supratensiunile pe cele trei faze în cazul conectării în gol a unei LEA de 750 kV, 520 km, cu funcționarea unui descărcător ASEA pe bază de oxizi metalici.

Descărcătorul clasic (fig. 5) amorsează de două ori pe faza A și prin funcționarea acestuia apar modificări în unda de tensiune pe toate fazele. Nivelul de protecție asigurat este de 2,7 u.r., depășindu-se energia maxim admisibilă pentru acest descărcător (circa 4 MJ față de 2,5 MJ) din cauza valorii mari a supratensiunii. Deci acest tip de descărcător nu poate fi utilizat în aceste condiții. În figurile 7 și 8 se prezintă, la o scară extinsă în timp, amorsările 1 A și 2 A din figura 5.

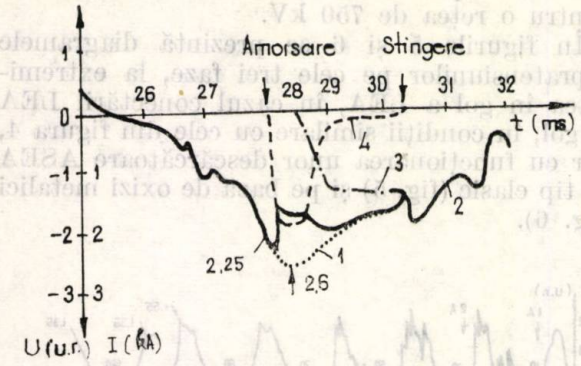


Fig. 7. Amorsarea 1A la figura 5: 1 — supratensiunea fără amorsarea descărcătorului; 2 — tensiunea pe descărcător; 3 — tensiunea pe eclator 4 — curentul prin descărcător.

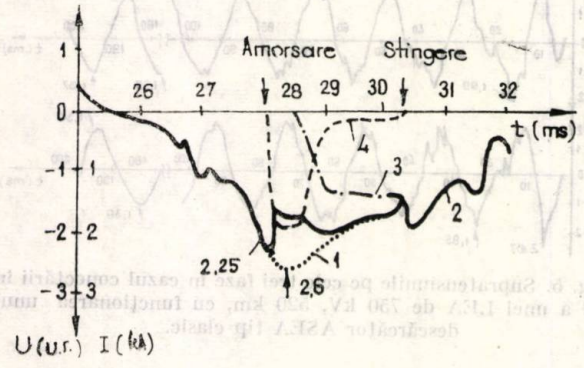


Fig. 8. Amorsarea 2 A la figura 5: 1 — supratensiunea fără amorsarea descărcătorului; 2 — tensiunea pe descărcător; 3 — tensiunea pe eclator; 4 — curentul prin descărcător.

În cazul funcționării unui descărcător pe bază de oxizi metalici (fig. 6), unda de tensiune are mult mai puține neregularități decît în cazul funcționării unui descărcător clasic. Nivelul de protecție asigurat de acest descărcător este de circa 2 u.r., iar prin funcționarea lui se atenuează rapid fenomenul tranzitoriu, tensiunea coborînd sub valoarea de 1,5 u.r. practic după una sau două perioade, ajungînd după 3 — 4 perioade la valoarea supratensiunii temporare stabilizate. În acest caz nu se depășește energia admisă pentru acest descărcător (5 MJ față de 8 MJ). În figurile 9 și 10 se prezintă, la o scară extinsă în timp, amorsările 2A și 4A din figura 6.

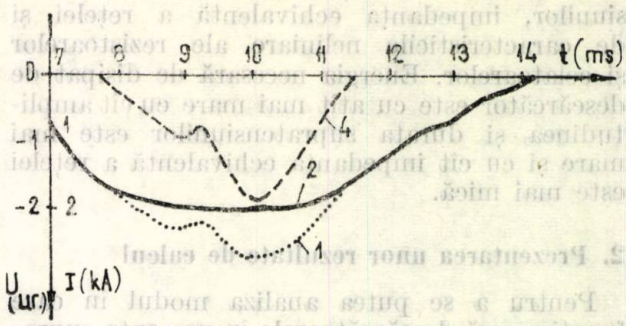


Fig. 9. Amorsarea 2 A la figura 6: 1 — supratensiunea fără funcționarea descărcătorului; 2 — tensiunea pe descărcător; 4 — curentul prin descărcător.

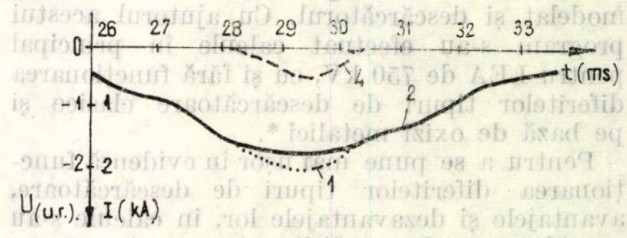


Fig. 10. Amorsarea 4 A la figura 6: 1 — supratensiunea fără funcționarea descărcătorului; 2 — tensiunea pe descărcător; 4 — curentul prin descărcător.

În tabelele 1 și 2 se prezintă o exemplificare a modului de alegere a nivelului de ținere a

Tabelul 1

	Exemplul 1	Exemplul 2	Exemplul 3	Exemplul 4
Tensiunea cea mai ridicată pentru echipament, în kV_{ec}	787	787	787	787
Tensiunea corespunzătoare între fază și pămînt-valoare de vîrf, în kV	642	642	642	642
Valoarea supratensiunii de comutație, în kV și u.r.	1350 (2,1)	1350 (2,1)	1350 (2,1)	1350 (2,1)
Nivelul de protecție asigurat de descărcător, în kV și u.r.	1350 (2,1)	1233 (1,92)	1111 (1,75)	1002 (1,56)
Tensiunea de ținere a izolației la impuls de comutație, în kV	1550	1550	1550	1550
Coeficientul statistic de siguranță*	1,15	1,26	1,40	1,55
Riscul de defectare*	10^{-4}	$4 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-8}$	$4 \cdot 10^{-11}$

Tabelul 2

Riscul de defectare*	10^{-4}	10^{-4}	10^{-4}	10^{-4}
Coeficientul statistic de siguranță**	1,15	1,15	1,15	1,15
Tensiunea de ținere a izolației la impuls de comutație necesară, în kV	1550	1418	1278	1152
Tensiunea de ținere a izolației la impuls de comutație conform CEI, în kV și u.r.	1550 (2,41)	1425 (2,2)	1300 (2,02)	1175 (1,83)

* Calculul s-a efectuat conform CEI pentru: — factorul de dispersie al supratensiunilor $\tau_s = 15\,\%$
— factorul de dispersie a tensiunii de ținere a izolației $\tau_t = 6\,\%$

izolației într-o rețea de 750 kV, în funcție de valoarea supratensiunilor de comutație. Calculele s-au efectuat folosind metoda statistică simplificată de alegere a izolației recomandată de CEI.

S-au considerat patru valori de supratensiuni de comutație. În primul exemplu s-a considerat supratensiunea statistică de 2% pentru o rețea de 750 kV (2,1 u.r.), iar pentru exemplele 2, 3 și 4 s-au considerat valori de supratensiuni egale cu nivelurile de protecție asigurate prin funcționarea diferitelor tipuri de descărcătoare moderne pe bază de oxizi metalici. În tabelul 1 s-a considerat constantă tensiunea de ținere a izolației și s-a determinat riscul de defectare pentru cele patru valori ale solicitărilor electrice. Se constată că pentru o supratensiune de 1350 kV (2,1 u.r.) se obține o valoare a riscului de defectare de 10^{-4}, suficient pentru a se alege, pentru izolație, o tensiune de ținere de 1550 kV (tensiunea de ținere cea mai ridicată recomandată de CEI pentru rețelele de 750 kV).

Atunci cînd descărcătoarele asigură niveluri de protecție mult mai coborîte (exemplele 2, 3 și 4) valoarea riscului de defectare este mult mai mică, existînd o rezervă în izolație dacă se alege tensiunea de ținere de 1550 kV, ceea ce conduce la concluzia că se pot adopta echipamente cu niveluri de ținere a izolației mai coborîte.

În tabelul 2 se prezintă alegerea nivelului de ținere a izolației la supratensiuni de comutație, pentru aceleași valori de supratensiuni de comutație ca în tabelul 1, în cazul în care se menține constantă valoarea riscului de defectare și anume 10^{-4}. Analizîndu-se rezultatele se constată că prin utilizarea descărcătoarelor pe bază de oxizi metalici, care pot asigura niveluri de protecție coborîte, se pot alege, pentru izolația rețelei de 750 kV, nivelurile de ținere minime recomandate de CEI (1425 kV și respectiv 1300 kV) și chiar un nivel de protecție mai coborît decît nivelul minim recomandat de CEI și anume 1175 kV. Reducerea nivelurilor de izolație ale echipamentelor din rețelele electrice prin utilizarea acestor tipuri de descărcătoare are implicații economice substanțiale. În lucrarea „*Contribuții la studiul supratensiunilor temporare datorate defectelor de pămînt și închiderii nesimultane a fazelor*" s-au prezentat ample analize privind funcționarea descărcătoarelor clasice și pe bază de oxizi metalici în prezența supratensiunilor de comutație și temporare. Principalele concluzii ale acestor analize au fost :

— nivelul supratensiunilor temporare, într-o rețea electrică, constituie elementul determinant în alegerea descărcătoarelor clasice ; descărcătoarele clasice nu pot fi utilizate pentru protecția împotriva supratensiunilor temporare ;

— în anumite cazuri extreme (LEA lungi, puteri de scurtcircuit mici, lipsa mijloacelor de reducere a supratensiunilor), descărcătoarele clasice nu pot limita suficient supratensiunile de comutație, neasigurînd un nivel de protecție convenabil pentru a se încadra în nivelurile de ținere a izolației recomandate de CEI ; în aceste cazuri ar trebui utilizate echipamente cu niveluri de ținere superioare celor recomandate de CEI ;

— prin utilizarea descărcătoarelor pe bază de oxizi metalici se reduc în mod spectaculos valorile supratensiunilor de comutație, putîndu-se renunța la rezistențele de preinserție din întrerupătoare și la orice mijloace de reducere a părții tranzitorii a supratensiunilor ; descărcătoarele pe bază de oxizi metalici pot fi utilizate „în prima linie de apărare" a echipamentelor ;

— descărcătoarele pe bază de oxizi metalici pot fi folosite și pentru reducerea, pe durate limitate de timp, a supratensiunilor temporare sau pentru eliminarea acestora ; posibilitatea acestor descărcătoare de a limita sau chiar de a elimina supratensiunile temporare, posibilitate pe care descărcătoarele clasice nu o au, este de luat în seamă la alegerea și coordonarea izolației și protecția acesteia împotriva supratensiunilor ;

— prin utilizarea descărcătoarelor pe bază de oxizi metalici, chiar în cazul unor valori mari de supratensiuni de comutație, se pot utiliza echipamente cu cele mai coborîte niveluri de izolație recomandate de CEI (pentru rețelele de 750 kV reducere de la 1550 kV la 1425 kV și respectiv 1300 kV) ; deoarece la ora actuală se pot construi descărcătoare pe bază de oxizi metalici care să asigure, în cele mai grele condiții de rețea, niveluri de protecție de 1,55 — 1,6. u.r., prin utilizarea lor s-ar putea alege echipamente cu niveluri de ținere a izolației sub nivelul minim recomandat în prezent de CEI, reducîndu-se în mod spectaculos nivelul de izolație față de nivelul utilizat în prezent cu tehnica clasică de coordonare a izolației (de la 1550 kV la 1175 kV pentru o rețea de 750 kV, ceea ce ar însemna o reducere cu circa 20%).

3. Preocupări pe plan mondial pentru reducerea nivelurilor de izolație ale echipamentelor electrice și efectele economice ale acestor reduceri

Preocupări pentru reducerea nivelurilor de izolație ale echipamentelor electrice s-au manifestat încă de la începutul deceniului 5 în S.U.A. și s-au materializat prin adoptarea unor niveluri de izolație mai reduse decît în toate celelalte țări ale lumii. Măsura principală care a permis reducerea nivelurilor de izolație a fost utilizarea unor descărcătoare perfecționate (cu caracteristici similare celor fabricate de ASEA

și BBC) și adoptarea unui coeficient de legare la pămînt de 0,7. Aceste măsuri au condus, în S.U.A., la reducerea nivelurilor de izolație pentru rețelele electrice de tensiuni mai mari de 110 kV cu două trepte.

Efectul economic al reducerii cu o treaptă a nivelurilor de izolație s-a evaluat în S.U.A. la 6 — 8% pentru transformatoare, menționîndu-se însă că un rezultat important îl constituie posibilitatea creșterii puterii nominale a transformatoarelor în limitele acelorași gabarite.

Preocupări și realizări importante în domeniul reducerii nivelurilor de izolație se pot cita în U.R.S.S., Suedia, Franța, Italia, R.F.G., Venezuela etc., analizîndu-se și economiile rezultate. Aceste analize au estimat o reducere cu circa 3 — 10% a costului unui transformator de putere, la o reducere cu o treaptă a nivelului de izolație. Repartizate pe tensiuni, aceste analize au estimat următoarele domenii de variație procentuală a costurilor transformatoarelor de 110 — 500 kV la reducerea cu o treaptă a nivelului de izolație (funcție de metoda de calcul adoptată și de firma constructoare):

110 kV — reducerea costului cu 2,5 — 8%;
220 kV — reducerea costului cu 4 — 12%;
400 kV — reducerea costului cu 6 — 15%;
500 kV — reducerea costului cu 6,5 — 16%.

În țara noastră, preocupările IEPC constau în adoptarea următoarelor niveluri de ținere la supratensiuni de comutație pentru transformatoare: 650 kV la tensiunea de 220 kV și 950 kV la 400 kV.

Aceste reduceri se vor putea valorifica numai în condițiile utilizării unor descărcătoare cu performanțe ridicate. Folosirea descărcătoarelor moderne pe bază de oxizi metalici va permite utilizarea de echipamente cu niveluri de ținere mai coborîte decît cele specificate.

Descărcătoarele pe bază de oxizi metalici sînt în fabricație curentă în multe țări și deja utilizate cu succes în exploatare (S.U.A., Japonia, Suedia, U.R.S.S. etc.), ele asigurînd niveluri de protecție în jur de 1,8 — 1,85 u.r. și chiar mai coborîte [1 — 4]. Datorită utilizării unor astfel de descărcătoare, în U.R.S.S. s-a redus prețul de cost cu 10 — 15% și suprafața ocupată cu 15 — 30% [3], în condițiile creșterii siguranței în funcționare a rețelelor electrice.

Concluzii

Condițiile impuse de dezvoltarea rețelelor electrice de înaltă și foarte înaltă tensiune, cu niveluri de ținere a izolației relativ coborîte, precum și progresele tehnice acumulate în fabricarea descărcătoarelor, au condus la schimbări importante în concepția de coordonare a izolației și de utilizare a descărcătoarelor.

Utilizarea descărcătoarelor moderne pe bază de oxizi metalici, cu performanțe ridicate de protecție, permite folosirea de echipamente cu niveluri de izolație mult mai coborîte decît echipamentele actuale, avînd implicații economice substanțiale. Astfel, trecerea la utilizarea lor pe scară largă ar revoluționa practica actuală de coordonare a izolației, în special pentru rețelele de înaltă și foarte înaltă tensiune.

Avîndu-se în vedere avantajele menționate este necesar ca și în țara noastră să se urgenteze cercetările în vederea realizării unor descărcătoare pe bază de oxizi metalici cu performanțe ridicate.

Bibliografie

1] Burger, U., Rudolff, R. *Modern Arresters for EHV and UHV Networks — Requirements and Technical Solutions.* În: Brown Boveri Rev., nr. 5, 1977.

[2] Burger, U. *Insulation Coordination and Selection of Surge Arrester.* În: Brown Boveri Rev., nr. 4, 1979.

[3] Aleksandrov, G. *Parafoudres destinés a une limitation appreciable des surtensions dans les réseaux 110—500 kV.* CIGRE 1978, rap., 33—06.

[4] Frontin, V. ș.a. *Limitations importantes des surtensions sur les lignes EHT.* CIGRE 1982, rap. 33—08.

(Primit la 22 decembrie 1987, acceptat la 26 februarie 1988)

NOUTĂȚI

Cronică

A IV-A CONSFĂTUIRE CU TEMA: „VALORIFICAREA RESURSELOR ENERGETICE REFOLOSIBILE, A SURSELOR NECONVENȚIONALE ȘI A POTENȚIALULUI MICROHIDROENERGETIC"

BACĂU, 21–22 APRILIE 1988

Continuînd o frumoasă tradiție, a avut loc la Bacău în perioada 21–22 aprilie Consfătuirea specialiștilor din cercetare, proiectare și producție, cu activități în domeniul valorificării resurselor energetice refolosibile, a surselor neconvenționale și a potențialului hidroenergetic al cursurilor mici de apă.

Consfătuirea, desfășurată sub egida Comitetului Național pentru Știință și Tehnologie, a fost organizată de MEE prin Institutul de Cercetări și Modernizări Energetice (ICEMENERG) și IRE Bacău.

Urmînd linia edițiilor precedente, la consfătuire au fost prezentate, în trei secții, soluții și tehnologii noi, perfecționate, tipuri noi de echipamente specifice aflate în stadiu de cercetare-experimentare, concluzii rezultate din exploatarea, întreținerea și urmărirea comportării în timp a instalațiilor.

La secția I „*Resurse energetice refolosibile*" au fost prezentate 23 de referate, cuprinzînd realizări și rezultate practice obținute de diferite institute și întreprinderi producătoare sau consumatoare de energie în domeniul valorificării resurselor energetice refolosibile (8 referate), cercetări privind soluții și scheme optimizate (10 referate), optimizări de consumuri pe bază de bilanțuri energetice reale, alte aspecte legate de RER (5 referate).

S-au remarcat lucrările cuprinzînd prezentarea soluțiilor și echipamentelor realizate pentru recuperarea căldurii gazelor de ardere cu temperaturi scăzute (ICEMENERG, ICPPG), rezultatele experimentale de la instalația recuperatoare cu grup turbogenerator cu freon (ICEMENERG), aspecte privind stabilirea unor indicatori de calitate și eficiență economică a schimbătoarelor de căldură (ICPAIUC), instalația pentru răcirea prin vaporizare a cuptoarelor metalurgice (CS Hunedoara), stațiile de producere de agent termic din gaze arse în diverse procese tehnologice (IPCT), eficiența energetică a pompei de căldură funcționînd cu amestec de agenți frigorifici (ICPIAF Cluj-Napoca), cazane recuperatoare pentru acid sulfuric (ICSITEE).

În cadrul discuțiilor au suscitat interes deosebit referatele care au prezentat instalații sau echipamente noi de recuperare, realizate și experimentate, la care au fost dezbătute rezultatele obținute, realizîndu-se astfel un fructuos schimb de experiență.

S-au subliniat greutățile legate de dificultatea procurării schimbătoarelor de căldură rezistente la coroziune și eficiente sub aspectul schimbului de căldură.

Participanții la această secțiune au audiat cu interes prezentarea privind preocupările pe linia conservării energiei și promovării energiilor neconvenționale și aspecte ale colaborării întreprinderilor energetice cu consumatorii de energie în R.F.G., făcută pe baza unei vizite de documentare în această țară.

„*Surse neconvenționale de energie*" a constituit tema secției a II-a, la care au fost prezentate 15 referate elaborate de specialiști din institute de cercetare și din unități de producție. Majoritatea referatelor au prezentat soluții perfecționate, considerații tehnico-economice și echipamente pentru tehnologiile de valorificare termică a energiei solare, care se află pe primul loc sub aspectul competitivității cu sursele clasice. S-au remarcat lucrările prezentate de specialiștii din ICSITEE și ISPE în domeniul instalațiilor solare pentru încălzirea aerului necesar proceselor de uscare, pentru încălzirea apei cu conținut mare de săruri, pentru preîncălzirea apei de adaos la centrale termice de mică capacitate, precum și lucrările prezentate de INCERC și ICPVILF privind soluții de valorificare a căldurii solare, în special în agricultură și horticultură, folosind captatoare nemetalice realizate din materiale ieftine. În dezbateri s-a subliniat necesitatea diversificării și ieftinirii echipamentelor pentru aplicațiile termice în ansamblul preocupărilor pentru valorificarea energiilor neconvenționale.

În domeniul valorificării biogazului și biomasei au fost prezentate două referate și două filme documentare. S-au evidențiat preocupările pentru producerea biogazului în instalații cu flux orizontal, precum și rezultatele obținute în lucrările de intensificare a producției de biomasă în așa-numitele piramide bioenergetice.

Au fost prezentate trei referate în domeniul producției de energie electrică din surse neconvenționale, care au dezbătut aspecte privind concepția de ansamblu a centralelor solaroelectrice fotovoltaice de sistem în condițiile țării noastre, problematica perfecționării și simplificării concepției aerogeneratoarelor de medie putere, precum și unele aspecte teoretice și practice în direcția evaluării potențialului energetic al vîntului (ICEMENERG, IRE Suceava).

Secția a III-a a fost consacrată tematicii privind „*Soluții și tehnologii perfecționate în domeniul valorificării potențialului hidroenergetic al cursurilor mici de apă.*" Cele șapte referate prezentate au dezbătut probleme privind tehnologii constructive noi în realizarea centralelor hidroelectrice de putere mică și a microhidrocentralelor, soluții optime de amenajare hidroenergetică, soluții perfecționate pentru comanda electrică a agregatelor, comportarea în exploatare a construcțiilor hidroenergetice, echipamentelor și agregatelor, aspecte privind verificarea „în situ" a performanțelor, alte aspecte privind realizarea și exploatarea microhidrocentralelor.

Evidențiem, de asemenea, prezentările făcute de specialiștii din întreprinderile de rețele electrice din județele Bacău, Neamț și Botoșani privind realizările în valorificarea potențialului cursurilor mici de apă din aceste județe.

Dezbaterile pe marginea referatelor au subliniat o serie de aspecte importante pentru activitatea viitoare.

A fost combătută tendința de simplificare exagerată a construcțiilor și dotărilor, care s-a dovedit dăunătoare, s-a accentuat necesitatea elementelor constructive prefabricate, în special a tubulaturii, s-a remarcat calitatea slabă a unor echipamente și importanța punerii la punct a sistemelor de automatizare. Au fost subliniate aspecte cu implicații ecologice (colmatarea lacurilor, captarea întregului debit de pe cursul riului etc.), care trebuie avute în vedere la proiectare și în exploatare.

Consfătuirea, foarte bine organizată pe plan local de IRE Bacău, a prilejuit un eficient schimb de experiență, a contribuit la contacte directe între specialiști, în scopul generalizării soluțiilor și realizărilor valoroase și creșterii calității muncii.

ing. Constantin Popescu
ICEMENERG

CASCADA DE UHE COMPLET AUTOMATIZATĂ ÎN AUSTRIA

Cascada de pe rîul Saltzach din Austria (Landul Salzburg) constă din 6 UHE cu puterile de 33,6; 16,5; 16,5 16,0; 12 și 12 MW, producția anuală fiind de 471 GWh/an. Toate UHE sînt de același tip, cu barajele din trei travei, fiind echipate cu cîte două turbine orizontale axiale și generatoare sincrone. Două din UHE funcționează din 1985, celelalte fiind în stadiu de construcție. UHE sînt complet automatizate, fiind dotate cu un sistem ierarhic de protecție prin relee. Controlul și conducerea UHE se face de la distanță, de la un punct central amplasat la Salzburg. Experiența de exploatare a primelor două centrale din cascadă a confirmat deosebita siguranță a sistemului de comandă. În primii doi ani de exploatare UHE au funcționat complet fără personal, în regim automat, fără nici un fel de defecțiuni.

Specialiștii austrieci consideră că, deoarece majoritatea cheltuielilor la exploatarea UHE sînt legate de personal, trebuie făcute toate eforturile pentru diminuarea la minimum a acestora, fapt care presupune și cerințe deosebite față de echipamente, care trebuie să fie simplificate, fiabile și pe deplin automatizate. Mica hidroenergetică are perspective mari de viitor, mai ales prin amenajarea de cascade pe rîuri mici, care nu reclamă investiții deosebit de mari, nu aduc prejudicii importante mediului ci, din contră, în multe cazuri îmbunătățesc starea hidrologică și creează noi zone de agrement și odihnă.

(După „Referativnii jurnal" 22 Energhetika vol. general nr. 10/1987, poz. 10 J 162)

PERSPECTIVELE APROVIZIONĂRII ENERGETICE ÎN ȚĂRILE COMISIEI ECONOMICE EUROPENE

În CEE se prognozează că prețul la țiței va crește înspre anul 1995 pînă la 145 $/m³ *, iar în jurul anului 2005 va fi de ordinul a 218 $/m³. Cererea la petrol va crește anual, în medie, cu 2,2 % pînă la sfîrșitul anilor 90. Cererea de cărbune în viitorii zece ani se va menține la nivelul anului 1986 de ordinul a 200—220 mil tep/an. Cererea de gaze naturale (GN) în perioada 1983—1985 a urcat cu 5 % anual, în 1986 — cu 2 %, iar în 1987 — cu 3 % (evaluare). În 1995 ponderea gazelor naturale în balanța termoenergetică a țărilor CEE va fi de 17 % (280—285 mild. m³).

În 1986 ponderea cărbunelui în producerea energiei electrice a fost de 35 %, a energiei nucleare — de 31,6 %, a energiei hidroelectrice— de 21,7 %, a țițeiului — 7,8 %, a gazelor naturale — de 5,4 %.

Se presupune că producția totală de energie electrică în CNE a țărilor CEE va crește de la 96 GW în 1986 la 134 GWe în 1995 și la 152 GW în 2005.

(După „Referativnii jurnal" 22 Energhetika vol. general nr. 12/1987, poz. 12 T 143)

* 1 m³ ≅ 1 t

FORMA CONSTRUCTIVĂ ȘI CONCEPȚIA UNUI CAZAN DE ABUR CU FOCAR PENTRU ARDEREA CĂRBUNELUI ÎN STRAT FLUIDIZAT (SF) CIRCULANT ÎN R.F. GERMANIA

Cazanul de abur de la CTE Duisburg (R.F.G.) este destinat funcționării în cadrul unui bloc de termoficare, cu o putere electrică de 95,8 MW. Presiunea maximă a aburului după prima supraîncălzire este de 166 kgf/cm², presiunea aburului intermediar — 40 kgf/cm². După economizor apa intră în suprafețele de încălzire amplasate în camera focarului prin vaporizare. Fluxul produselor de ardere prin SF se face la o viteză de 5—6 m/s.

În scopul protecției contra coroziunii ecranului și a țevilor suspendate acestea sînt executate cu pereții groși (44,5 × × 8 și 51 × 8 mm).

Supraîncălzitorul primar de abur este realizat din ecrane ale focarului (31,8 × 5 mm) și din patru trepte de pachete convective (38 × 4,38 × 4,5 și 38 × 5,6 mm), executate în două fluxuri paralele.

Supraîncălzitorul intermediar de abur este executat din două fluxuri paralele din cîte două trepte din țevi de 63,5 × × 8 mm. Treptele de ieșire ale supraîncălzitorului primar și intermediar de abur sînt executate din oțeluri austenitice cromnichel cu adaos de Al și Ti.

Pentru curățirea suprafețelor convective de încălzire cazanul este dotat cu aparate de suflare. După suprafețele convective gazele de ardere conținînd particule solide în valoare de 60 g/m³ intră în cicloane, de unde reținerile se întorc în SF.

După cicloane este amplasat un EF „fierbinte", după care se instalează un preîncălzitor de apă tubular, cu două fluxuri și opt căi, care răcește gazele de ardere de la 300 la 130°C.

(După „Referativnii jurnal" 22 Energhetika vol. general nr. 11/1987, poz. 11 R 47)

BLOC ENERGETIC DE 80 MW, ECHIPAT CU UN CAZAN DE ABUR CU FOCAR PENTRU ARDEREA LIGNITULUI ÎN STRAT FLUIDIZAT SUB PRESIUNE ÎN SPANIA

Compania spaniolă ENDESA (Empresa Nacional de Electricidad), împreună cu ASEA PFBC—BWESA (Suedia) au elaborat un proiect de reconstruire a centralei electrice ESCATRON.

Noul bloc de 80 MW, a cărei construcție se va termina în 1990, este destinat funcționării pe lignit cu următoarele caracteristici de bază:

	%
— conținutul de carbon	28,5
— hidrogen	2,0
— umiditate	18,6
— cenușă	36,1
— sulf	6,8

Puterea calorifică superioară este de 12100 kJ/kg.

Arderea lignitului măcinat pînă la 5 mm, se va realiza la presiunea de 1,2 MPa într-un focar cu strat fluidizat, care se introduce în modulul cazanului, avînd un diametru de 12 m și o înălțime de 20 m. În stratul fluidizat, avînd înălțimea de 4 m, se introduc țevile cazanului de abur, cu un debit de 216,4 t/h, temperatura de 513°C și presiunea aburului de 9,4 MPa.

Purificarea produselor de ardere de sulful conținut în lignit se asigură prin introducerea în stratul fluidizat a unei cantități stabilite de var sau dolomită.

Gazele de ardere se evacuează din stratul fluidizat la o temperatură de 850°C, se curăță de particulele cu dimensiunea de peste 10 microni, aflate în suspensie, cu ajutorul unor cicloane, care sînt amplasate de asemenea în modulul de cazan și apoi intră într-o instalație de turbine cu gaze, care acționează un compresor de aer cu o putere de 16,6 MW.

Aburul produs intră într-o turbină de abur în două trepte.

Randamentul blocului este de 34,7 %. Concentrația de NO_x în gazele de ardere este mai mică sau egală cu 150 mg/MJ.

Se menționează că se proiectează o instalație energetică similară, cu o putere electrică de 366 MW, avînd un randament de 38,6 %.

(După „Referativnii jurnal" 22 Energhetika, vol. general nr. 11/1987, poz. 11.R.48)

APLICAȚII ALE TEHNOLOGIEI DE ARDERE ÎN STRAT FLUIDIZAT ÎN U.R.S.S.

Extrase din articolul

„Energetica pe bază de șisturi a Estoniei — experiența de funcționare și perspectivele dezvoltării în continuare", **autori Semenov și Arhipov, apărut în „Teploenerghetika" nr. 11/87, p. 46.**

... „Cele mai bune rezultate în ceea ce privește organizarea de procese de ardere de joasă temperatură au fost obținute în suspensie — și în special în strat fluidizat cu flacără (SFF).

Cu luarea în considerare a experienței pozitive de asimilare în exploatare industrială a focarului cu SFF (cazanul BKZ-75-39, nr. 7 de la CET Ahtma), care a permis creșterea eficacității funcționării suprafețelor de încălzire și mărirea debitului cazanului și, în conformitate cu „Programul complex de reconstruire a cazanelor vechi și de creare a unor noi cazane energetice cu focare cu strat fluidizat",

aprobat în 1983 de Ministerul Energiei și Electrificării al U.R.S.S. și Ministerul Construcțiilor de Mașini Energetice al U.R.S.S. s-a asigurat trecerea cazanului TP-17 (nr. 12) de la CTE Pribaltiskaia la arderea șisturilor în SFF. În prezent cazanul se află în probe de PIF.

Următoarea etapă constă în reconstruirea cazanului TP-101 (corpul 8 B) de la CTE Estonskaia cu trecerea acestuia la arderea directă a șisturilor în sistemul SFF.

Scopul final al măsurilor constă în asimilarea unui nou proces de ardere pentru asigurarea lucrărilor de modernizare a blocurilor energetice de 200 MW funcționînd pe șisturi.

Pentru înlocuirea blocurilor de medie presiune cu durată depășită de funcționare, pentru asigurarea deficitului de căldură, precum și în legătură cu dezvoltarea extracției de șisturi, se va realiza reechiparea tehnică a vechilor CET prin înlocuirea tuturor cazanelor cu cazane de tip SFF (cazanul de tip E-160/40 SFF)".

NOUL DISPOZITIV CU RAZE X REZOLVĂ PROBLEMELE DE REVIZIE LA TURBINE

Londra (LPS): Noul dispozitiv folosit la revizia paletelor de rotor de joasă presiune va prezenta avantaje mari pentru atelierele Littlebroock din cadrul Comisiei Centrale de Producere a Energiei Electrice (CEGB) din Anglia.

Paletele rotorului de joasă presiune sînt prevăzute cu extremități din oțel dur pe muchiile principale, care le asigură rezistența la picăturile de ploaie. Extremitățile — numite blindaje (armături) contra eroziunii — ar putea produce deteriorări însemnate la confesatoarele de turbină dacă s-ar desprinde, motiv pentru care paletele sînt controlate regulat, pentru a vedea dacă extremitățile sînt bine fixate.

La început la atelierele Littlebroock s-a aplicat revizia ultrasonică pe baza mijloacelor pentru verificarea nedistructivă, dar această revizie s-a dovedit neadecvată, de aceea s-a trecut la o altă metodă, radiografia — utilizarea razelor X.

S-a apelat la personal specializat care să supravegheze aplicarea regulilor de securitate contra radiațiilor, deoarece o zonă foarte extinsă a trebuit să fie izolată în timpul efectuării activității — a fost necesară o arie măsurînd 30 de metri pătrați. Aceasta însemna că în timpul radiografierii paletelor de rotor, personalului din atelier i se interzicea accesul la mai multe mașini, inclusiv un strung de 100 t, care deranja foarte mult activitățile atelierului.

Dar acestea și alte probleme au fost rezolvate printr-un sistem de raze X inclus în mod special.

Noul dispozitiv reduce din zona de activitate necesară, de fapt este proiectat în așa fel încît barierele de radiație sînt laturile reale ale dispozitivului, care măsoară numai un metru pe doi metri.

Chiar și cu tubul de radiații X la puterea întreagă, nivelurile de radiație care se măsoară pe laturile dispozitivului reprezintă numai aproximativ un microsievert pe oră la granița zonei controlată din punctul de vedere al radiațiilor în cadrul vechiului sistem.

Inginerul Peter Cawll, care se ocupă de securitatea în funcționare din cadrul CEGB, a comentat: Pe lîngă faptul că își găsește justificarea din punct de vedere radiologic, va îmbunătăți în același timp frecvența de rotație pentru activitatea de verificare a paletelor și rezultatele verificărilor vor fi mai bune.

Iulian Niculescu
1923—1988

La 23 mai 1988 s-a stins din viață inginerul Iulian Niculescu, vechi lucrător al Ministerului Energiei Electrice.

Născut la 22 iunie 1923, la Bălți, și-a făcut studiile liceale la Ploiești.

În 1951 a absolvit Facultatea de Construcții a Institutului Politehnic din București.

Angajat la Trustul Energoconstrucția, ocupă, pe rînd, funcțiile de șef de șantier la Energoconstrucția București, inginer șef la Grupul de Șantiere Timișoara și șef de sector la Termocentrala Doicești. În aceste funcții își aduce o contribuție deosebită la realizarea stației de sfărîmare a cărbunilor de la CTE Doicești, a laboratoarelor ISPH din Bd. Dimitrov — București, a atelierelor centrale ale Întreprinderii Energoutilaj, a părții de construcție a stațiilor electrice de transformare 110 kV Fundeni, 220/110 kV Mociu — Reșița, 110 kV Fratelia — Timișoara ș.a.

Din anul 1958 și pînă în anul 1975 a lucrat ca șef de secție, inginer șef și apoi ca director adjunct la Întreprinderea de Construcții Metalice și Prefabricate (ICMP) București, conducînd toate lucrările de investiții de la atelierele Cristian, Cîmpina, Progresul, Titan și toată producția de betoane de la atelierele Titan și Cristian, apoi întreaga producție a ICMP.

A fost unul din promotorii introducerii tehnologiei de fabricare a stîlpilor din beton centrifugat cu armătură precomprimată și inovator al presei policilindrice pentru tensionarea simultană și uniformă a armăturii acestor stîlpi.

A obținut brevet de invenție pentru „Dispozitivul de dublare a sarcinii la podurile rulante".

Din anul 1975 și pînă în 1984 și-a desfășurat activitatea în cadrul Direcției Tehnice din Ministerul Energiei Electrice, unde a avut o valoroasă contribuție la îmbunătățirea soluțiilor constructive ale obiectivelor energetice, la perfecționarea prescripțiilor și instrucțiunilor de proiectare și execuție a lucrărilor de construcții, susținînd permanent soluțiile și tehnologiile noi, valoroase.

Pentru activitatea profesională și aportul adus la dezvoltarea ramurii energetice a fost distins cu Medalia Muncii și Ordinul Muncii clasa a III-a.

Întreaga sa activitate s-a caracterizat prin înaltă competență profesională, corectitudine și muncă dusă din tot sufletul.

S-a stins timpuriu, după o grea suferință.

Redacția

СОДЕРЖАНИЕ

НАПРАВЛЕНИЕ В ЭНЕРГЕТИКЕ

ЛУЧИАН ЛЕФТЕР, ГЕОРГЕ ВЛАД: Использование гидроэнергетического потенциала 289—293

ОВИДИУ ЦУЦУЯНУ: Показатели энтропического анализа организации производственных процессов в энергетике и в других промышленных системах 293—296

УПРАВЛЕНИЕ И АВТОМАТИКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

КРИРТИАН ДЭНУЦ ПОЯНЭ, АЛЕХАНДРУ КИТИЯН — Эффекс изменения частоты сети на номинальное парамеуры фильтрационоо-компенсационного оборудования 297—300

ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

ГЕОРГЕ КЕРЧА, КРЭИЦА МАНГУ: Взаимосвязь характеристик угля, процесса сушки и размола и устойчивости горения 301—306

АНТОН РОШУ, КОНСТАНТИН БИЛЕГАН, ЕКАТЕРИНА БЭЛЭНЕСКУ, ГЕОРГЕ ГЕОРГЕ, ВАСИЛЕ МАНЯ: Подогреватель воздуха в тепловыми трубами для рекуперации остаточного тепла сбросных газов сгорания от котла КР-9. Экспериментальные результаты 307—311

ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

РОМУЛУС СФИКИ, ДОРИН БОШКОЯНУ, ОВИДИУ ЛУНГУ: Оснащение микро-ГЭС и ГЭС малой мощности при использовании центробежных насосов в турбинном режиме 312—316

МАРИЯ НИКОЛЕСКУ, ЛАЗЭР ЛУПЕСКУ, НИКОМАЕ НИКОЛГСКУ :К вопросу об отложениях в трубопрводах, вызванных цирлуляционной водой 316—320

АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

МИХАЙ ПОП, АЛЕКСАНДРУ НЯЦУ, СЕБАСТИАН ИОНЕСКУ: Центро подготовки CANDU в Румынии. Обзор румынско-канадского доклада о наборе, подготовке и квалификации эксплуатационного персонала АЭС 321—323

ЭЛЕКТРИЦЕСКИЕ СЕТИ

ФЭНИКЭ ВАТРЭ: Срабатывание разрадников в присутствии коммутационных и временных перенапряжений. Возможность снижения уровня изоляции электрооборудования путем использования совре менных разрядников, сделанных н оснаве окисей металлов 324—330

НОВОСТИ

ХРОНИКА

КОНСТАНТИН ПОПЕСКУ: IV Совещание на тему „Использование возобновляемых энергетических ресурсов, нетрадиционных источников энергии и потенциала микро ГЭС, Вакэу, 21—22 апреля 1988 г. 331

ИЗ МИРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ 323, 332—333

INHALT

ENTWICKLUNGSRICHTUNGEN IN DER ENERGIEWIRTSCHAFT

LUCIAN LEFTER, GHEORGHE LUCA: Verwertung des Wasserkraftpotentials 289—293

OVIDIU ŢUŢUIANU: Richtwerte zur entropischen Analyse der Organisierung der Produktionsprozesse in der Energiewirtschaft und in anderen Industriesystemen 293—296

DIE LEITUNG UND REGELUNGSTECHNIK DER VERBUNDNETZE

CRISTIAN DĂNUŢ POIANĂ, ALEXANDRU CHITIAN: Die Auswirkungen der Netzfrequenzänderungen auf den Nennkennwerten der Filtrier- und Kompensations-Ausrüstungen 297—300

WÄRMEKRAFTWERKE

GEORGE CHERCEA, CRĂIŢA MANGU: Der Zusammenhang zwischen den Kohlenkennwerten, dem Troknungsvorgang und der Verbrennungsstabilität 391—306

ANTON ROŞU, CONSTANTIN BILEGAN, ECATERINA BĂLĂNESCU, GHEORGHE GHEORGHE, VASILE MANEA: Röhrenluftvorwärmer zur Abwärmenutzung der aus einem Kessel CR-9 abgeleiteten Rauchgase. Versuchsergebnisse 307—311

WASSERKRAFTWERKE

ROMULUS SFICHI, DORIN BOŞCOIANU, OVIDIU LUNGU: Die Ausrüstung der Kleinstwasserkraftwerke und Wasserkraftwerke kleiner Leistung, die Zentrifugalpumpen im Turbinenbetrieb verwenden 312—316

MARIA NICOLESCU, LAZĂR LUPESCU, NICOLAE NICOLESCU: Betrachtungen über Rohrleitungen hinsichtlich der Ablagerungen des umlaufenden Wassers 316—320

KERNKRAFTWERKE

MIHAI POP, ALEXANDRIU NEAŢU, SEBASTIAN IONESCU: Das Schulungszentrum CANDU für Rumänien — Synthese des rumänisch-kanadischen Berichtes über die Schulung und Ausbildung des Bedienungspersonals aus Kernkraftwerken 331—323

ELEKTRISCHE NETZE

FĂNICĂ VATRĂ: Betrachtungen über den Betrieb der Ableiter unter Schaltüberspannungen und Spannungserhöhungen. Möglichkeiten der Verminderung des Isolationspegels der elektrischen Anlage, durch die Verwendung moderner Metalloxyd-Ableiter 324—330

NEUIGKEITEN

CHRONIK

CONSTANTIN POPESCU: Die 7. Konferenz „Die Verwertung der wiederverwendbaren Energiequellen, der nichtkonventionellen Energiequellen und des Kleinstwasserkraftwerkpotentials", Bacău, der 21.—22. April 1988 331

DIE ENERGIEWIRTSCHAFT WELTWEIT 323, 332—333

SOMMAIRE

ORIENTATIONS DES POLITIQUES ÉNERGÉTIQUES

LUCIAN LEFTER, GHEORGHE LUCA: La mise en valeur du potentiel hydroénergétique 289—293

OVIDIU ŢUŢUIANU: Indicateurs pour l'analyse de l'entropie de l'organisation des processuss de production dans l'énergétique et autres systèmes industriels 293—296

CONDUITE ET AUTOMATION DES RÉSEAUX ÉLÉCTRIQUES

CRISTIAN DĂNUŢ POIANĂ, ALEXANDRU CHITIAN: Les effets de la modification de la fréquence sur les paramètres nominaux des matériels de filtrage — compensation 297—300

CENTRALES THERMIQUES

GEORGE CHERCEA, CRĂIŢA MANGU: L'interdépendence d'entre les caractéristiques du carbon, le processus de séchage et broyage et la stabilité de la combustion 301—306

ANTON ROŞU, CONSTANTIN BILEGAN, ECATERINA BĂLĂNESCU, GHEORGHE GHEORGHE, VASILE MANEA: Réchauffeur d'air à tubes thermiques pour la récupération de la chaleur résiduelle des gaz de combustion évacués par une chaudière CR—9. Les résultats expérimentaux 397—311

CENTRALES HYDRAULIQUES

ROMULUS SFICHI, DORIN BOŞCOIANU, OVIDIU LUNGU: Les possibilités d'équiper les microhydrocentrales et les centrales hydrauliques de faible puissance des pompes centrifuges en régime de turbine 312—316

MARIA NICOLESCU, LAZĂR LUPESCU, NICOLAE NICOLESCU: Considérations sur les conduits sous l'aspect des dépôts adhérents de l'eau circulante 316—320

CENTRALES NUCLÉAIRES

MIHAI POP, ALEXANDRU NEAŢU, SEBASTIAN IONESCU: Le centre d'instruction CANDU pour la Romanie — La synthèse du rapport roumano-canadien concernant le recruitement, la formation et la qualification du personnel d'exploitation des centrales nucléaires 321—323

RÉSEAUX ET POSTES ÉLÉCTRIQUES

FĂNICĂ VATRĂ: Aspects concernant le fonctionnement des parafoudres lors des surtensions de manoeuvre et temporaires. Possibilités de réduire les niveaux d'isolation des matériels électriques en employant les parafoudres modernes à oxydes métalliques 324—330

NOUVEAUTÉS

CHRONIQUE

CONSTANTIN POPESCU: La IV-e Réunion sur „Valorisation des ressources énergétiques renouvelables, des sources non-conventionnelles et du potentiel micro-hidroénergétique", Bacău, 21—22 avril, 1988 331

L'ÉNERGIE DANS LE MONDE 323, 332—333

CONTENTS

TRENDS IN ENERGY P OLICY

LUCIAN LEFTER, GHEORGHE LUCA: Hydro-Power Potential Harnessing 289—293

OVIDIU ŢUŢUIANU: Indicators for the Entropical Analysis of Production Processes Organization within Energetics and Other Industrial Systems 293—296

ENERGY SYSTEMS CONTROL AND AUTOMATION

CRISTIAN DĂNUŢ POIANĂ, ALEXANDRU CHITIAN: Effects of Network Frequency Changes on the Rated Parameters of Filtering-Compensation Equipment 297—300

THERMAL POWER PLANTS

GEORGE CHERCEA, CRĂIŢA MANGU: Interdependence Between the Coal Features, the Drying and Grinding Process and the Combustion Stability 301—306

ANTON ROŞU, CONSTANTIN BILEGAN, ECATERINA BĂLĂNESCU, GHEORGHE GHEORGHE, VASILE MANEA: Air Preheaters Fitted with Thermal Pipes for Waste Heat Recovery from the Exhausted Flued Gas at a CR—9 Boiler — Experimental Results 307—311

HYDROPOWER PLANTS

ROMULUS SFICHI, DORIN BOŞCOIANU, OVIDIU LUNGU: Endowment of Microhydropower Plants and of Low Power Hydropower Plants with Centrifugal Pumps under Turbine Regime 312—316

MARIA NICOLESCU, LAZĂR LUPESCU, NICOLAE NICOLESCU: Issues on Pipe Adherent Deposits from Circulating Water 316—320

NUCLEAR POWER PLANTS

MIHAI POP, ALEXANDRU NEAŢU, SEBASTIAN IONESCU: The CANDU Training Center for Romania — Synthesis of the Romanian-Canadian Report on the Selection, Training and Qualification of Nuclear Power Plant Operating Staff 321—223

ELECTRIC NETWORKS

FĂNICĂ VATRĂ: Issues of Discharger Operation During Switching and Temporary Overvoltages. Ways of Reducing Electric Equipment Insulation Levels by Using State-of-the-Art Dischargers Based on Metal Oxides 324—330

NEWS

CRONICS

CONSTANTIN POPESCU: The 7th Conference "The Use of Reusable Energy Sources, of Non-conventional Sources and of the Microhydroenergy Potential", Bacău, April 31—22, 1988 331

ENERGY WORLDWIDE 323, 332—333

COLEGIUL DE REDACȚIE

Președinte, redactor responsabil: **dr. ing. Eugeniu Pavel**

Redactori responsabili adjuncți: **dr. ing. Mihai G. M. Pop, dr. ing. Gheorghe Bălan, ing. Radu Opincaru**

Secretar de redacție: **dr. ing. Teodor Popa**

Resort economic: **ec. Pompiliu Silvășanu**

Orientări în energetică: **dr. ing. Mario Duma**

Energetica în unități economice: **ing. Ion Măiereanu, ing. Alexandru Florescu**

Dezvoltarea sistemelor energetice: **dr. ing. Nicolae Armencoiu, dr. ing. George Manolescu**

Conducerea și automatica SE: **dr. ing. Victor Romert, dr. ing. Jean Constantinescu**

Centrale termoelectrice: **conf. dr. ing. Costin Moțoiu, ing. Romeo Zbarcea**

Centrale hidroelectrice: **dr. ing. Gheorghe Luca**

Centrale nuclearoelectrice: **ing. Adrian Georgescu, prof. dr. ing. Nicolae Dănilă, ing. Mircea Tarța**

Rețele electrice: **ing. Dinu Voinea, ing. Nicolae Georgian**

Alimentare cu căldură: **ing. Nicolae Niculescu**

Surse și tehnologii noi: **ing. Constantin Popescu**

Tehnologii chimice în energetică. Poluare.: **dr. chim. Maria Maftei**

Organizarea producției și a muncii: **ing. Miron Popescu**

Istoria electrificării: **ing. Paul Cartianu**

Noutăți: **ing. Mihai Nistor, ing. Romulus Sfichi**

Terminologia energetică: **dr. ing. Iosif Cserveny**

Centre universitare și industriale:

București: **conf. dr. ing. Alexandru Selischi**

Iași: **prof. dr. ing. Alexandru Poeată**

Timișoara: **prof. dr. ing. Viorel Negru**

Cluj: **conf. dr. Silviu Darie**

Acest număr a fost realizat cu concursul următorilor secretari ai grupelor de specialitate:

— **ing. Florin Popovici** — Orientări în energetică
— **dr. ing. Marius Pomârleanu** — Conducerea și automatica sistemului energetic
— **ing. Anton Roșu** — Centrale termoelectrice
— **dr. hidrol. Gheorghe Popa** — Centrale hidroelectrice
— **ing. Călin Teodorescu** — Centrale nuclearoelectrice
— **dr. ing. Traian Ioneseu** — Rețele electrice

Revista „ENERGETICA" este editată și administrată de Institutul de Cercetări și Modernizări Energetice prin Oficiul de Informare Documentară pentru Energetică.
Vasile Pleșca — șef OIDE, **Ana Maria Chivu** — redactor

Revista ENERGETICA — publicație lunară, reflectă preocupările spirituale și realizările materiale în domeniul energeticii. Funcționează în conformitate cu ROF aprobat cu Ordinul nr. 97/1987 și publicat în nr. 4/87.

Elaboratorii de lucrări propuse spre publicare sînt rugați să consulte *„Îndrumările pentru întocmirea și prezentarea lucrărilor propuse a fi publicate în revista Energetica"* și *„Ghidul pentru avizarea lucrărilor propuse a fi publicate în revista Energetica"* apărute în nr. 12/1986, precum și *„Planul tematic al revistei Energetica"* apărut în nr. 5/1987.

Instituțiile pot achita abonamentele în contul de virament nr. 30.11.8.01.01 — BN R.S.R. Fil. Sector 3. Costul unui abonament: 144 lei anual; costul unui exemplar: 12 lei

Redacția și administrația: București 79619, Bd. Energeticienilor nr. 8, sect. 3,
Telefon : 20.67.30, 21.46.30

41 401

ANNOUNCEMENTS FOR READERS ABROAD

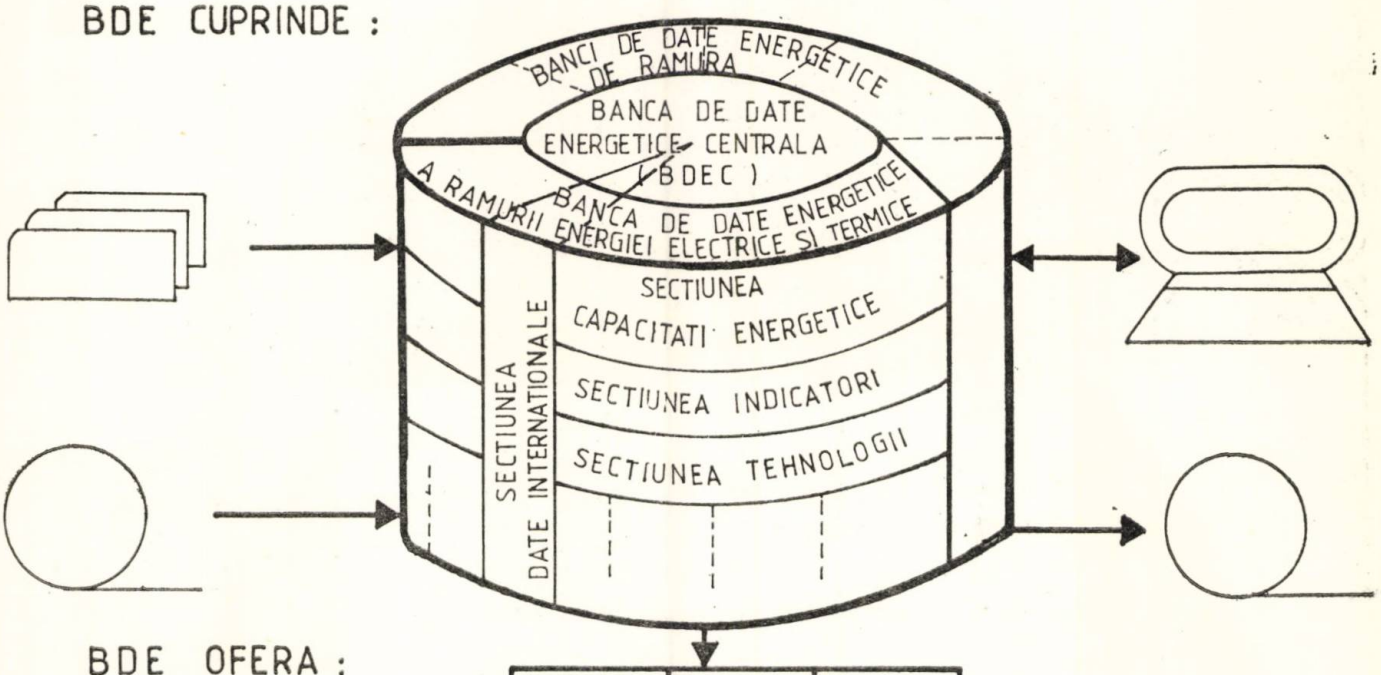
- **The review "Energetica" can send on request from publications abroad reports translated in one of the worldwide spoken languages**
- **The review "Energetica" proposes a publication exchange with similar reviews and in relating fields**
- **The review "Energetica" provides and publishes or introduces books on energy received at the editorial office. Reviews and presentations of books sent on this purpose to the editorial office can be published as well**
- **The review "Energetica" publishes on request from authors abroad reports of other materials : technical and scientific news, inventions-innovations, information about technical and scientific symposia, etc. written in one of the worldwide spoken languages**
- **Readers from abroad can subscribe through : ROMPRESFILATELIA — sectorul import-export, P.O. Box 12—501, telex 10376 prsfir, Calea Griviței nr. 64—66, București — România.**

Tiparul : Întreprinderea Poligrafică „Informația", București, str. Brezoianu 23—25 c—2350

BANCA DE DATE ENERGETICE - BDE

- furnizează informații cu caracter energetic pentru analize și fundamentări de decizii la diferite niveluri organizatorice;
- stochează date de prognoză, plan, realizări.

BDE CUPRINDE :



BDE OFERA :

- rapoarte lunare, trimestriale, anuale, la cerere.
- în profil departamental, teritorial, de ramură.
- date selectate
- evoluții, dinamici.

- -capacitățile de producție din centralele electrice
- -capacitățile de transport și distribuție a energiei electrice
- -realizarea principalilor indicatori de plan sau program
- -punerea în funcțiune a obiectivelor energetice
- -balanțe energetice
- -comparații cu alte țări
- -consumuri specifice
- -consumuri proprii tehnologice

AVANTAJELE UTILIZARII BDE :

- date validate, coerente, pentru diferite aplicații;
- asigurarea securității și integrității datelor;
- regăsire rapidă și redundanță minimă;
- proceduri tipizate de p.a.d.;
- lucru în regim conversațional.

CONTINUA DEZVOLTAREA PRIN:

- realizarea secțiunii de tehnologii
- extinderea celorlalte secțiunii

CONTINUA PERFECTIONAREA PRIN:

- adaptarea la minicalculatoare utilizind SGBD-uri specifice
- completarea cu noi facilități de exploatare

BDE - un instrument informatic util tuturor specialiștilor cu atribuții de profil energetic

ICEMENERG LSFDE (LPICE)

BD. ENERGETICIENILOR 8 • SECTORUL III
79619 BUCURESTI • Telefon 21 46 30 ; 20 67 30
Telex: ICEMENERG 10783 • CONT: 30.11.8.01.01
BNRSR Filiala Sector III BUCURESTI

LABORATORUL DE SINTEZA SI FUNDAMENTAREA PROGRAMELOR DE DEZVOLTARE ENERGETICA
(PROGNOZA, INFORMATICA, CONDUCERE SI ECONOMIE ENERGETICA.)

ENERGOREPARAȚII

B-dul Mărășești nr 2 sectorul 4. București.
Telefon 23.26.40 Telex 011635 - Cod poștal 75117

1984 MAJ 11

EXECUTĂ PIESE ȘI SUBANSAMBLE DE SCHIMB PENTRU INSTALAȚIILE ENERGETICE :

- Turbine cu abur și turbine hidraulice
- Cazane de abur și schimbătoare de căldură
- Ventilatoare de aer și de gaze
- Instalații pentru prepararea și transportul combustibilului
- Generatoare și motoare electrice

PRODUCE MAȘINI ȘI DISPOZITIVE DE MECANIZARE, DIVERSE SUBANSAMBLE ȘI AGREGATE

- Platforme hidraulice autopurtate, pompe de evacuare a zgurii și cenușii, dispozitive de ridicat și transportat

PRESTEAZĂ SERVICII, ACORDĂ ASISTENȚĂ TEHNICĂ, EXECUTĂ RECONDIȚIONĂRI PENTRU:

- Turbine de mare putere, generatoare și motoare electrice, cuple hidraulice, armături pentru circuitul de abur, măsurarea vibrațiilor, echilibrări de arbori, analize metalografice și chimice

E 2039 ETE

MW 8

R 1989 JAN 02 Reciclat

Cuprins

ORIENTĂRI ÎN ENERGETICĂ

MANFRED STEIN, ANCA VÂLCEREANU, ȘTEFAN DIACONU: **Proceden pentru analiza din punctul de vedere al fiabilității a unor sisteme cu structură variabilă** 337

DEZVOLTAREA SISTEMELOR ELECTROENERGETICE

TRAIAN MAUNA: **Unele aspecte privind amplasarea centralelor nuclearoelectrice pe riurile interioare** 342

GHEORGHE CÂRȚINĂ, VIRGILIU ALEXANDRESCU: **Utilizarea modelelor statistice în optimizarea regimurilor de funcționare ale sistemului electroenergetic** 346

CONDUCEREA ȘI AUTOMATICA SISTEMULUI ENERGETIC

GEORGE MORAITE, MARINA BOTGROS: **Aspecte ale comportării grupurilor generatoare bulb în regimuri tranzitorii** 351

CENTRALE TERMOELECTRICE

MIHAI POP, SORIN PRESSEL: **Unele considerații asupra valorificării complexe a șisturilor bituminoase din zona Anina** 356

CENTRALE NUCLEAROELECTRICE

ADRIAN RUSU, ANCA RUSU: **Prezentarea generală a unei centrale nuclearoelectrice de tip PHWR-CANDU, cu referiri speciale la CANDU 700, CNE Cernavodă** 361

REȚELE ELECTRICE

EUGEN NENIȚĂ, OVIDIU APOSTOL, GHEORGHE TOADER: **Metodă, algoritmi și programe pentru proiectarea asistată a pozării cablurilor dintr-o termocentrală** 370

TERMINOLOGIE ÎN ENERGETICĂ

IOAN I. IONIȚĂ: **O problemă de semantică: „putere calorifică" sau „căldură de ardere"** 374

NOUTĂȚI

INVENȚII — INOVAȚII 376

CRONICĂ:

ROMULUS SFICHI: **A VII-a ediție a consfătuirii energeticienilor suceveni cu tema: „Economisirea și utilizarea rațională a combustibililor și energiei. Valorificarea surselor energetice locale", Suceava, mai, 1988** 379

DIN ENERGETICA MONDIALĂ 369, 380

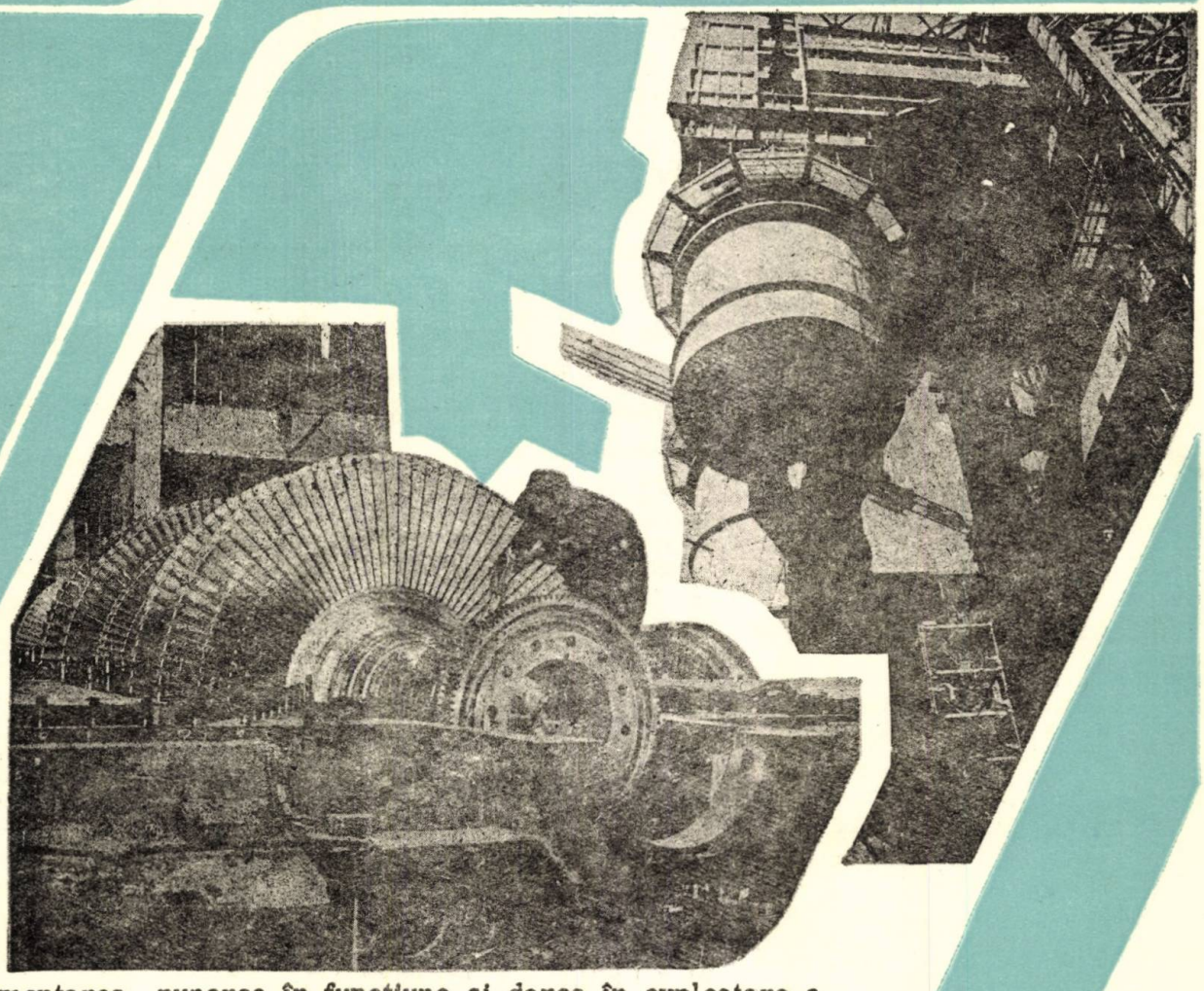
energetica

VOLUMUL XXXVI

BUCUREȘTI

AUGUST 1988

T.A.G. ENERGOMONTAJ



Execută montarea, punerea în funcţiune şi darea în exploatare a echipamentelor şi instalaţiilor energetice pentru centrale termoelectrice şi hidroelectrice

Echipamente şi instalaţii pentru centrale termoelectrice şi centrale electrice de termoficare
- cazane de abur de mare capacitate şi parametri înalţi de funcţionare
- turbine cu abur de puteri unitare pînă la 345 MW
- instalaţii de combustibil pentru cărbuni, păcură, gaze
- alte instalaţii termomecanice şi mecanice aferente centralelor termoelectrice.

Echipamente şi instalaţii pentru centrale hidroelectrice şi instalaţii hidrotehnice :
- turbine hidraulice de orice tip, pînă la puteri unitare de 176 MW, conducte forţate
- echipamente şi alte instalaţii pentru centrale hidro şi termoelectrice
- echipamente şi instalaţii pentru ecluze.

Echipamente şi instalaţii electrice pentru centrale termoelectrice şi hidroelectrice, staţii electrice şi instalaţii speciale :
- instalaţii de comutaţie primară pînă la tensiunea de 400 kV inclusiv
- instalaţii de servicii interne în centrale şi staţii electrice
- instalaţii de comutaţie secundară şi de automatizare.

Bucureşti, Calea Dorobanţi nr. 105, telefon 79.76.20, telex 11355

ENERGETICA

ORGAN AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE ȘI AL CONSILIULUI NAȚIONAL AL INGINERILOR ȘI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

SUB ÎNDRUMAREA CONSILIULUI ȘTIINȚIFIC AL INSTITUTULUI CENTRAL DE CERCETĂRI ENERGETICE

Anul 36 Nr. 8 august 1988

Orientări în energetică

Procedeu pentru analiza din punctul de vedere al fiabilității a unor sisteme cu structură variabilă

Ing. MANFRED STEIN, mat. ANCA VÂLCEREANU, mat. ȘTEFAN DIACONU *

Descriptori: sisteme, structuri, fiabilitate

CZ. 621.3.602.5: 621.3.019.3

În lucrare se prezintă o metodologie de calcul al indicatorilor de siguranță pentru scheme tehnologice electrice sau termomecanice din instalații electrice. Modul nou de abordare a analizelor de siguranță permite analiza siguranței în scheme tehnologice a căror structură poate fi modificată prin intervenții voite (automate sau manuale), în funcție de starea în care a intrat sistemul la un moment dat.

Metoda poate fi aplicată în cazul în care luarea în considerație a mai mult decît trei defecte simultane nu este oportună și conduce la o simplificare considerabilă a calculului.

În lucrare se prezintă și un exemplu de calcul cu utilizarea programului de calcul adecvat.

The paper presents a calculation method for the safety indeces of technological thermo-mechanic and electric circuits of electrical installations. This new approach of safety analysis enables the study of technological circuits whose structure can be modified by intended (automatic or manual) interventions, depending on the state of the system at a given moment.

This method can be applied if the consideration of more than three simultaneous faults is not convenient and it leads to a considerable simplification of the calculation.

The paper also contains a calculation example using the suitable calculation program.

Introducere

Pentru analiza schemelor tehnologice din punctul de vedere al fiabilității sînt cunoscute o serie de procedee și metode bazate pe anumite modele matematice.

Printre principalele procedee și metode se enumeră:

a) procedeul bazat pe reducerea prin echivalări succesive a schemei de calcul;

b) procedeul bazat pe modelarea schemei cu ajutorul arborilor de defectare;

c) procedeul bazat pe utilizarea „tăieturilor minimale";

d) procedeul bazat pe scrierea matricilor intensităților de trecere pentru utilizarea modelului bazat pe lanțuri Markov.

Aceste procedee și modele, cu excepția celui menționat la pct. (d), analizează fiabilitatea schemelor tehnologice ale unor sisteme *a căror structură funcțională rămîne neschimbată, indiferent de elementele componente care se defectează.*

Există însă mai multe tipuri de scheme și sisteme tehnologice care, în funcție de locul în care se produce un defect, sînt supuse, prin manevre manuale sau automate, unor schimbări structurale, adică structura lor este schimbată prin intervenții voite, în cazul intrării în diferite stări. Acesta este cazul multor scheme tehnologice, în special, al instalațiilor energetice electrice sau termomecanice.

După cum s-a menționat, procedeul de la pct. (d) permite analizarea unor asemenea sisteme din punct de vedere probabilistic, dar în cazul unor scheme cu multe elemente scrierea matricii intensităților de trecere asociate stărilor prin care poate trece sistemul este foarte laborioasă, chiar dacă nu se consideră stări cu defecte multiple (de ordinul 3 și mai mare).

Astfel, de exemplu, pentru o schemă foarte simplă, prezentată în figura 1, conținînd 7 elemente, matricea va marca 29 de stări, dacă se iau în considerare numai defectele simple și duble, respectiv 64 de stări, dacă se includ și defecte triple.

Față de acest procedeu, cel propus mai jos are marele avantaj că permite abordarea în mod mult mai simplu a unor scheme cu multe

* Ing. Manfred Stein, mat. Anca Vâlcereanu, mat. Ștefan Diaconu — Institutul de Studii și Proiectări Energetice, București.

elemente componente, modificabile ca structură în funcție de starea în care se găsesc. Matricea care se întocmește în acest caz are

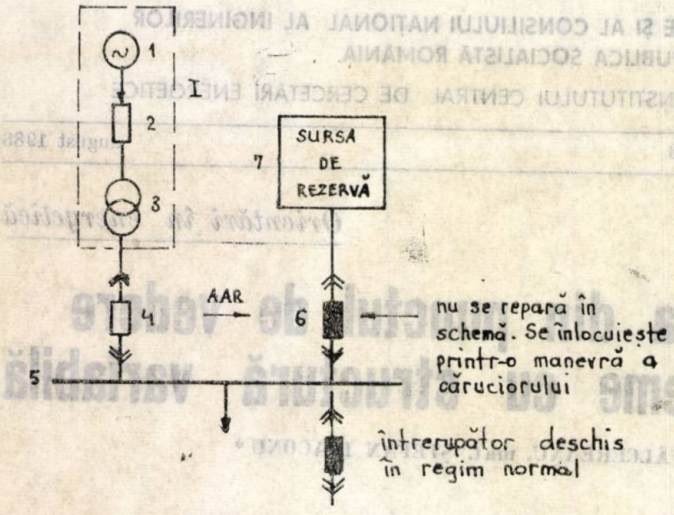


Fig. 1.

un număr de coloane și linii egale cu numărul de elemente (în cazul exemplului de mai sus egal cu 7).

1. Descrierea procedeului

Procedeul se bazează pe întocmirea, pentru schema studiată, a unei matrici, mai precis a unei „grile", având un număr de coloane și linii egal cu numărul de elemente primare (sau echivalate prin alt procedeu) ale schemei (fig. 2).

	1	2	3	4	5	6	7
1	A				$\frac{R}{5}$	M	$\frac{R}{1,7}$
2		A			$\frac{R}{5}$	M	$\frac{R}{2,7}$
3			A		$\frac{R}{5}$	M	$\frac{R}{3,7}$
4				A	$\frac{R}{5}$	M	M
5					$\frac{R}{5}$		
6	M	M	M	M	$\frac{R}{5}$		
7	$\frac{R}{7,1}$	$\frac{R}{7,2}$	$\frac{R}{7,3}$	M	$\frac{R}{5}$		

Fig. 2. Matrice întocmită pentru schema din figura 1.

Grila se completează astfel:

— pe diagonală, la intersecția liniei „i" cu coloana „i" se înregistrează defectele simple care determină ieșirea schemei din starea de succes (de funcționare);

— la intersecția liniei „i" cu coloana „j" se înregistrează defectele duble (adică situația în care elementul „i" este deja în stare de defect, în această stare producîndu-se defectarea elementului „j", ceea ce determină ieșirea schemei din starea de succes).

Înregistrarea în căsuțele respective a defectelor se face cu:

— R, dacă revenirea schemei în stare de funcționare se face după efectuarea unei reparații;

— M, dacă revenirea schemei în stare de succes se face după efectuarea unei manevre manuale (de exemplu manevrarea unei vane, a unui întrerupător sau separator, pornirea manuală a unui echipament, înlocuirea în timp scurt a elementului defect etc.);

— A, dacă revenirea schemei în stare de succes se face după efectuarea unei manevre automate (de exemplu RAR, AAR, pornirea automată a surselor de rezervă etc.).

În aceleași căsuțe, alături de R se marchează și indicii elementelor asupra cărora se efectuează operația de reparare.

Calculul indicatorilor de fiabilitate se face fie manual, fie cu ajutorul calculatorului electronic, utilizînd în acest scop programul corespunzător „SIGRIND — interactiv". *

Indicatorii obținuți și relațiile de calcul utilizate sînt prezentate în anexă.

Se menționează că în cazul utilizării calculatorului se generează automat defectele duble care rezultă din defectele simple și defectele triple care rezultă din combinarea defectelor simple și duble (de exemplu defectele duble 1,5; 2,5; 3,5; 4,5; 6,5; 7,5 din figura 2).

Totodată, în cazul calculului automat defectele duble marcate în „grilă" prin $\frac{R}{i,j}$, care apar sub diagonală, nu se vor considera dacă deasupra diagonalei există înregistrate defectele de tip $\frac{R}{j,i}$ (de exemplu defectele duble marcate prin $\frac{R}{7,1}$; $\frac{R}{7,2}$ și $\frac{R}{7,3}$ în figura 2). Se reduce astfel volumul de date introduse de la consolă.

Luarea în considerare a defectelor duble sau triple este opțională, în funcție de valorile probabilităților acestor tipuri de defecte.

Pentru numărul de elemente componente ale sistemului analizat care nu depășește 4 — 5, calculul manual este foarte simplu. Numărul de elemente cu care se intră în calcul poate fi în prealabil mult redus prin metodele de echivalare cunoscute. Astfel, de exemplu, în figura 1

* *Actualizarea și modernizarea programelor de calcul SIGRIND și DISPON pentru analiza fiabilității schemelor electrice și termomecanice*, partea II-a. Studiu ISPE — oct. 1987.

elementele 1, 2, 3 pot fi echivalate printr-un element „I", astfel încît schema obținută este cea prezentată în figura 3, iar „grila" nu va avea decît 5 linii și 5 coloane.

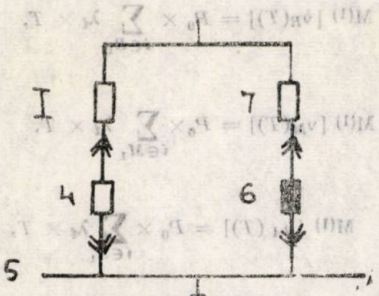
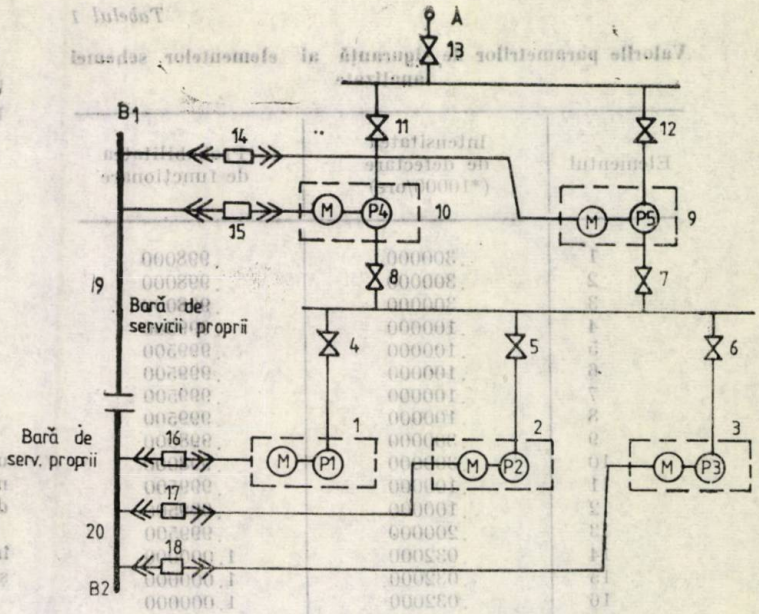


Fig. 3.



Avantajele noului procedeu de calcul sînt :

— aplicabilitate foarte ușoară ;

— evitarea scăpărilor unor căi de defectare a schemelor ;

— obținerea unui număr important de indicatori în condițiile analizării unor scheme complexe multifuncționale ;

— posibilitatea efectuării unor analize de sensibilitate prin selectarea elementelor sau combinațiilor de elemente, după gradul de contribuție pe care defectarea lor o are asupra fiabilității întregii scheme (programul SIGRIND — interactiv, afișează contribuțiile mai semnificative) ;

— ușoară însușire a modului de calcul de către persoane nespecializate sau puțin specializate în calculul probabilistic.

Soluția prezintă un aspect de noutate, nefiind citată pînă acum în literatura de specialitate.

Pentru exemplificare se prezintă rezultatele obținute prin aplicarea programului SIGRIND în cazul schemei unei instalații de pompare din cadrul serviciilor proprii ale unei centrale termoelectrice (fig. 4. și tabelele 1 și 2).

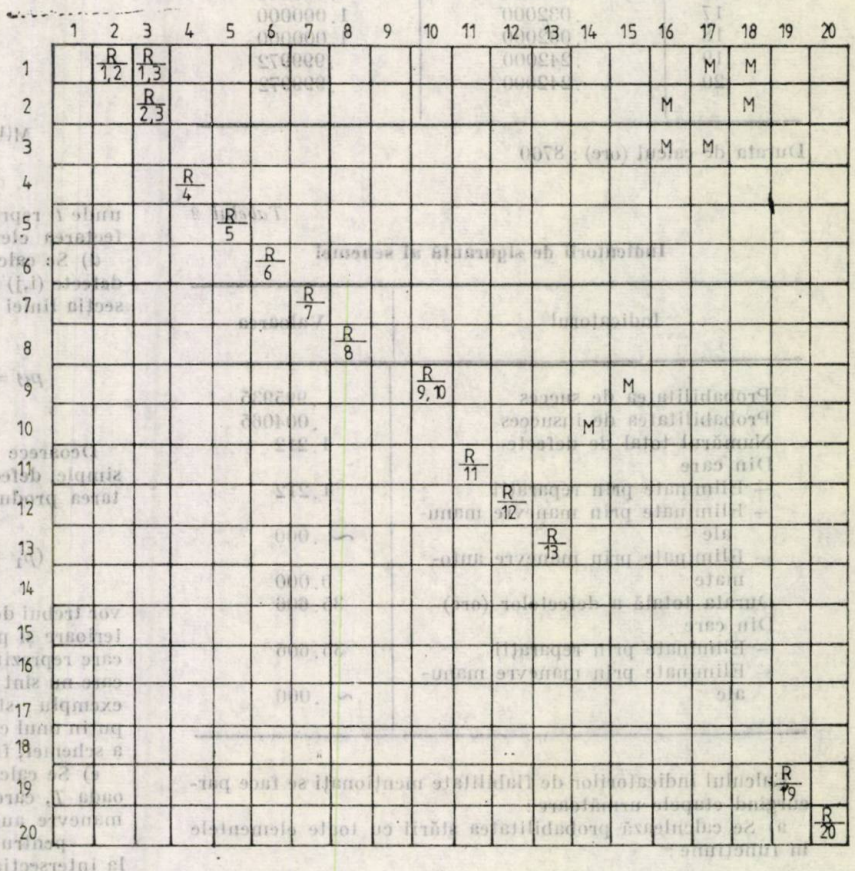


Fig. 4. Schema de principiu pentru alimentarea cu un fluid și grilă pentru evidențierea defectelor.

Relațiile de calcul utilizate pentru determinarea indicatorilor de fiabilitate

Indicatorii de fiabilitate urmăriți prin calcul sînt următorii :

— probabilitatea de succes (de funcționare) : P ;

— probabilitatea de insucces (de nefuncționare) : Q ;

— numărul mediu total de defecte într-un interval de timp de durată T : $M[\nu(T)]$, din care :

ANEXĂ

- eliminate prin reparații sau înlocuiri : $M[\nu_R(T)]$;
- eliminate prin manevre manuale : $M[\nu_M(T)]$;
- eliminate prin manevre automate : $M[\nu_A(T)]$;

— durata medie totală a defectelor într-un interval de timp de durată T : $M[\beta(T)]$, din care :

- eliminate prin reparații sau înlocuiri : $M[\beta_R(T)]$;
- eliminate prin manevre manuale : $M[\beta_M(T)]$.

Durata defectelor eliminate prin manevre automate se neglijează.

Tabelul 1

Valorile parametrilor de siguranță ai elementelor schemei analizate

Elementul	Intensitatea de defectare (*10000/ore)	Probabilitatea de funcționare
1	.300000	.998000
2	.300000	.998000
3	.300000	.998000
4	.100000	.999500
5	.100000	.999500
6	.100000	.999500
7	.100000	.999500
8	.100000	.999500
9	.300000	.998000
10	.300000	.998000
11	.100000	.999500
12	.100000	.999500
13	.200000	.999500
14	.032000	1.000000
15	.032000	1.000000
16	.032000	1.000000
17	.032000	1.000000
18	.032000	1.000000
19	.242000	.999972
20	.242000	.999972

Durata de calcul (ore) : 8760

Tabelul 2

Indicatorii de siguranță ai schemei

Indicatorul	Valoarea
Probabilitatea de succes	.995935
Probabilitatea de insucces	.004065
Numărul total de defecte	1.212
Din care	
— Eliminate prin reparații	1.212
— Eliminate prin manevre manuale	~ .000
— Eliminate prin manevre automate	0.000
Durata totală a defectelor (ore)	35.606
Din care	
— Eliminate prin reparații	35.606
— Eliminate prin manevre manuale	~ .000

Calculul indicatorilor de fiabilitate menționați se face parcurgînd etapele următoare :

a) Se calculează probabilitatea stării cu toate elementele în funcțiune :

$$P_0 = p_1 \times p_2 \times \ldots \times p_n$$

și probabilitățile stărilor cu un element defect :

$$P_i = P_0 \times \frac{q_i}{p_i}, \quad (i = 1,2,\ldots,n),$$

unde : n este numărul elementelor schemei analizate ;

p_i — probabilitatea de succes aferentă elementului „i" ;

$q_i = 1 - p_i$ — probabilitatea de insucces aferentă elementului „i" $(i = 1,2,\ldots,n)$.

b) Se calculează numărul mediu total de defecte simple într-un interval de timp de durată T, care se elimină prin reparații, manevre manuale și manevre automate :

$$M^{(1)}\,[\nu_R(T)] = P_0 \times \sum_{i \in R_1} \lambda_i \times T,$$

$$M^{(1)}\,[\nu_M(T)] = P_0 \times \sum_{i \in M_1} \lambda_i \times T,$$

$$M^{(1)}\,[\nu_A(T)] = P_0 \times \sum_{i \in A_1} \lambda_i \times T,$$

unde R_1, M_1, A_1 reprezintă mulțimea indicilor elementelor marcate în „grilă" prin R, M, respectiv A, în căsuțele de pe diagonală.

c) Se calculează durata medie totală a defectelor simple într-un interval de timp de durată T, eliminate prin reparații și manevre manuale :

$$M^{(1)}\,[\beta_R(T)] = \sum_{i \in R_1} P_i \times T,$$

$$M^{(1)}{}_M\,[\beta_M(T) = \left(\sum_{i \in M_1} \lambda_i \times t_i\right) \times P_0 \times T,$$

unde t reprezintă durata manevrei manuale efectuate la defectarea elementului de indice „i".

d) Se calculează probabilitățile stărilor cu două elemente defecte (i,j) marcate cu R în căsuțele „grilei" aflate la intersecția liniei „i" cu coloana „j" :

$$p_{ij} = p_0 \times \frac{q_i \times q_j}{p_i \times p_j}, \quad (i,j = 1,2,\ldots,n).$$

Deoarece probabilitățile de stare (nici un defect, defecte simple, defecte duble, defecte triple etc.) se obțin din dezvoltarea produsului binomial :

$$(p_1 + q_1) \times (p_2 + q_2) \times \ldots \times (p_n + q_n) = 1$$

vor trebui determinate și luate în considerație în calculele ulterioare și probabilitățile stărilor cu două elemente defecte, care reprezintă stări de defect pentru schema analizată, dar care nu sînt marcate în „grilă", acestea fiind subînțelese (de exemplu : stările cu două elemente defecte dintre care cel puțin unul conduce prin defectarea sa la ieșirea din funcțiune a schemei, fiind marcat ca atare pe diagonala „grilei").

e) Se calculează numărul mediu de defecte duble în perioada T, care se elimină prin reparații, manevre manuale și manevre automate :

— pentru defectele duble marcate cu R/i,j în căsuța aflată la intersecția liniei „i" cu coloana „j" în grilă :

$$M^{(2)}\,[\nu_R(T)] = \sum_{i,j} (P_i \times \lambda_j + P_j + \lambda_i) \times T.$$

(Însumarea se face pentru toate stările de defect dublu marcate în „grilă" cu R/i,j) ;

— pentru defectele duble marcate cu R/j în căsuța aflată la intersecția liniei „i" cu coloana „j" :

$$M^{(2)}\,[\nu_R(T)] = \sum_{i,j} P_i + \lambda_j \times T.$$

Însumarea se face pentru toate stările de defect dublu marcate în „grilă" prin R/j);

— pentru defectele duble marcate cu M în căsuța aflată la intersecția liniei „i" cu coloana „j" în „grilă":

$$M^{(2)}[\nu_M(T)] = \sum_{i,j} P_i \times \lambda_j \times T.$$

(Însumarea se face pentru toate stările de defect dublu marcate în „grilă" prin M);

— pentru defectele duble marcate cu A în căsuța aflată la intersecția liniei „i" cu coloana „j" în „grilă":

$$M^{(2)}[\nu_A(T)] = \sum_{i,j} P_i \times \lambda_j \times T.$$

(Însumarea se face pentru toate stările de defect dublu marcate în „grilă" prin A).

f) Se calculează durata medie a defectelor duble eliminate prin reparații sau manevre manuale (corespunzătoare stărilor de defect dublu marcate cu R și M în „grilă", în căsuțele aflate la intersecția liniei „i" cu coloana „j"):

$$M^{(2)}[\beta_R(T)] = \sum_{i,j} P_{ij} \times T,$$

$$M^{(2)}[\beta_M(T)] = \sum_{i,j} P_i \times \lambda_j \times t_{ij},$$

unde t_{ij} reprezintă durata manevrei manuale efectuate pentru revenirea schemei în stare de succes în cazul defectării succesive a elementelor „i" și „j".
(Însumarea se face pentru toate stările de defect dublu marcate în „grilă" cu R/i, j, R/j, respectiv M, în căsuțele aflate la intersecția liniei „i" cu coloana „j" ($i, j = 1,2,\ldots,n$; $i \neq j$)).

g) Se calculează indicatorii de fiabilitate globali ai schemei:

— durata medie totală a defectelor eliminate prin reparații, pe durata T:

$$M[\beta_R(T)] = M^{(1)}[\beta_R(T)] + M^{(2)}[\beta_R(T)];$$

— numărul mediu total al defectelor eliminate prin reparații, pe durata T:

$$M[\nu_R(T)] = M^{(1)}[\nu_R(T)] + M^{(2)}[\nu_R(T)];$$

— durata medie totală a defectelor eliminate prin manevre manuale, pe durata T:

$$M[\beta_M(T)] = M^{(1)}[\beta_M(T)] + M^{(2)}[\beta_M(T)];$$

— numărul mediu total al defectelor eliminate prin manevre manuale, pe durata T:

$$M[\nu_M(T)] = M^{(1)}[\nu_M(T)] + M^{(2)}[\nu_M(T)];$$

— numărul mediu total al defectelor eliminate prin manevre automate, pe durata T:

$$M[\nu_A(T)] = M^{(1)}[\nu_A(T)] + M^{(2)}[\nu_A(T)];$$

— durata medie totală de defect pe durata T:

$$M[\beta(T)] = M[\beta_R(T)] + M[\beta_M(T)];$$

— numărul mediu total al defectelor pe durata T:

$$M\nu[(T)] = M[\nu_R(T)] + M[\nu_M(T)] + M[\nu_A(T)];$$

— probabilitatea de insucces:

$$Q = M[\beta(T)]/T.$$

În cazul în care durata manevrelor manuale poate fi neglijată probabilitatea de insucces a schemei se calculează astfel:

$$Q = \sum_{i \in R_1} P_i + \sum_{i,j} P_{ij}.$$

Bibliografie

[1] ISPE. *PE 013 Normativ privind metodele și elementele de calcul al siguranței în funcționarea instalațiilor energetice.* ICEMENERG, 1984.

[2] Stein, M. *Criteria and method for the construction of electrical circuits for auxiliaries in large power station and substations regard to the reliability.* Raport CIGRE 23 — 07, 1986.

(Primit la 22 decembrie 1987, acceptat la 9 martie 1988)

Unele aspecte privind amplasarea CNE pe rîurile interioare

Ing. TRAIAN MAUNA*

Descriptori : Amplasare CNE, CANDU 700, securitate nucleară

CZ. 621.311.25 : 621.039.006

În cadrul articolului sînt prezentate principalele criterii generale care trebuie luate în considerare la alegerea unui amplasament pentru o centrală nuclearoelectrică, cu particularizări pentru centrale de tip CANDU 700 MWe, amplasate pe rîurile interioare. Se prezintă, de asemenea, modalităţi de cuantificare pe categorii de criterii şi o metodă eficientă de preselecţie a amplasamentelor CNE cu ajutorul unei matrici de acceptare.

Main general criteria to be considered at the location choice of a nuclear power plant of the 700 MWe CANDU type on inland rivers are presented in this paper. Quantification means by criteria categories as well as an efficient nuclear power plant location preselection method by means of an acceptance matrix are indicated as well.

Cadrul general

Energetica nucleară se impune cu o participare din ce în ce mai mare în balanţa energetică a ţării noastre pentru viitorul apropiat.

În scopul asigurării independenţei energetice a ţării, hotărîrea Plenarei CC al P.C.R. din 31.03.82 prevede amplasarea unor noi centrale nuclearoelectrice în zone deficitare energetic, astfel ca puterea instalată în CNE să ajungă în cincinalul următor la circa 4500 MWe, iar în 1995 la circa 10 000 MWe.

Rezultă că este necesar să se analizeze condiţiile de amplasare a centralelor nuclearoelectrice pe rîurile interioare. În general stabilirea unei amplasări pentru o centrală nuclearoelectrică urmăreşte satisfacerea unor criterii diferite de cele privind centralele pe combustibili convenţionali, centrala nuclearoelectrică fiind practic nelegată de sursa de combustibil. Definirea criteriilor de alegere a amplasamentelor centralelor nuclearoelectrice a constituit o preocupare permanentă a specialiştilor încă de la apariţia primelor unităţi nucleare, problematica făcînd obiectul multor seminarii, consfătuiri şi comunicări ştiinţifice din cadrul diferitelor organizaţii constituite pe plan mondial.

1. Criterii de amplasare

Criteriile privind amplasarea unei centrale nuclearoelectrice pot fi clasificate după modul de abordare, din mai multe puncte de vedere.

În principal următoarele două categorii sînt determinante :

— criterii de acceptare (excludere);

— criterii legate de securitatea nucleară.

Aceste categorii grupează, de fapt, gama pe criterii ce trebuie luate în considerare. Ambele grupări pot fi aplicate succesiv, în funcţie de faza la care se face analiza, determinînd metode specifice.

Criteriile legate de securitatea nucleară împart lista generală în două grupe, după cum sînt implicate sau nu în realizarea condiţiilor de securitate nucleară.

a) Criteriile cu implicaţii în securitatea nucleară şi protecţia mediului sînt :

1 — geologia şi geotehnica amplasamentului, care să evidenţieze stabilitatea generală geologică a zonei, distanţa faţă de falii şi accidente tectonice etc.;

2 — seismologia zonei de amplasare, cu evidenţierea distanţei faţă de epicentre, evaluarea acceleraţiei terenului, definirea unui spectru de răspuns etc.;

3 — geotehnica amplasamentului, legată de condiţii concrete de fundare a clădirilor nucleare ca : presiunea admisibilă pe teren, stabilitatea terenului de fundare, tasabilitate, menţinerea în timp a caracteristicilor fizico-mecanice etc.;

4 — hidrologia subterană, în legătură cu căile de poluare radioactivă a surselor pentru apa de băut;

5 — hidrologia apelor de suprafaţă, cu privire în special la nivelul maxim de inundare cu o frecvenţă de apariţie mai mare de 10^{-1} an^{-4} şi la asigurarea unui grad ridicat de dispersie a substanţelor slab active (de exemplu 1 :7000);

* Ing. Traian Mauna — Institutul de Studii şi Proiectări Energetice Bucureşti.

6 — demografia zonei, ținînd seama de necesitatea asigurării unei zone de excludere (de exemplu cu raza de 1000 m pentru un reactor CANDU—600), a unei zone cu populația redusă (cu raza de 2000 m) și dispunerii amplasamentului astfel ca doza totală integrată pe populația situată într-un unghi de 22°30′ să se mențină în limitele stabilite prin norme;

7 — condiții de dispersie atmosferică, în legătură cu cerințele de asigurare a protecției și mediului populației;

8 — evenimente produse de activități umane, cum sînt explozii ce se pot produce la industrii chimice, căderi de avioane etc.

b) Dintre criteriile care nu sînt legate de condiții de securitate nucleară, dar care pot fi determinante pentru alegerea unui amplasament, mai importante sînt:

1 — încadrarea în sistemul energetic național (SEN);

2 — asigurarea apei de răcire, cu inventarierea caracteristicilor calitative și cantitative pînă la un grad de asigurare de 97%;

3 — relieful terenului și volumul de terasamente necesar amenajării platformei centralei;

4 — necesarul de energie termică pentru termoficarea centrelor urbane;

5 — valoarea investiției pe MWe (totale, directe etc.).

Pentru a răspunde în mod satisfăcător cerințelor impuse de criteriile enumerate este necesar a se colecta o cantitate mare de informații cu participarea unor specialiști din multe domenii de activitate.

2. Metode de evaluare

Pentru alegerea unor amplasamente convenabile este necesar a se evalua modul de satisfacere a criteriilor enumerate.

O metodă cantitativă de evaluare globală, utilizată și la alte genuri de obiective, constă în compararea valorilor totale investite ce rezultă pentru fiecare variantă de amplasare. Prin aplicarea metodei se stabilesc valorile de investiție necesare pentru ca fiecare criteriu privind securitatea nucleară să se încadreze în limitele prevăzute de norme, însumîndu-se cu valorile de investiție ale obiectelor conform conceptului aplicat, rezultînd astfel valoarea totală.

O altă metodă cantitativă constă în exprimarea numerică a ponderii fiecărui criteriu și aprecierea rezultatului însumării acestora. Evaluarea amplasamentului se face, în acest caz, prin aplicarea relației:

$$W_T = \sum_{i=1}^{n} Gi \times Fi,$$

unde:

W_T este ponderea totală;

Gi — ponderea atribuită factorului Fi care definește criteriul i.

Un procedeu derivat este determinarea ponderii specifice:

$$p = \frac{W_T}{n} \text{ sau } p' = \frac{W_T}{\sum_{i=1}^{n} Fi},$$

unde:

p este media aritmetică;

p' — media ponderată.

De exemplu, pentru natura terenului se pot atribui valori lui Gi între 1 și 10, funcție de utilitate, iar pentru asigurarea apei de răcire se pot atribui valori în același interval pentru diferite debite ce pot fi prelevate la asigurarea de 97%. Factorul Fi poate lua valoarea 2 pentru criteriile ce țin de securitate și valoarea 1 pentru celelalte criterii, sau poate fi gradat în cadrul unei scări de la 1 la 5 funcție de importanța atribuită criteriului.

O metodă cantitativă aplicabilă este cea a echivalării condițiilor, care constă în a atribui, în raport cu un amplasament de referință, cheltuielile generate de aducerea în condiții echivalente pentru fiecare criteriu avut în vedere. De exemplu, pentru un număr oarecare de amplasamente la care diferă relieful, distanța de sursa de apă și natura terenului de fundare se evaluează costurile de investiție generate de realizarea platformei, aducțiunii și de îmbunătățirea terenului de fundare sau de adoptarea unei soluții indirecte de fundare, comparîndu-se eventual duratele de execuție a acestora și consumul de lubrifianți și carburanți.

O metodă calitativă ce se poate aplica este analiza pas cu pas a satisfacerii unor grupe de criterii și alegerea acelor amplasamente care satisfac criteriile minime de acceptabilitate și minimum 50% din celelalte criterii. În această situație se are în vedere stabilirea unor soluții distincte funcție de situația specifică a amplasamentului pentru aducerea la limitele prevăzute în norme.

3. Condiții specifice pentru amplasamente situate pe rîurile interioare

Pentru analiza posibilităților de amplasare a centralelor nucleare pe rîurile interioare din țara noastră, s-a considerat pentru exempli-

ficare o centrală de tip CANDU — 700 MWe pe un amplasament situat în Transilvania.

O primă trecere în revistă a criteriilor scoate în evidenţă următoarele caracteristici ce trebuie îndeplinite prioritar de amplasament:

— să fie situat fie în zone deficitare din punct de vedere energetic, fie la distanţe mici de acestea, pentru ca pierderile de energie din reţea să fie în limite reduse;
— seismicitatea zonei să fie redusă, respectiv acceleraţia terenului la DBE să fie de cel mult 0,2 g;
— zona să fie stabilă geologic şi să nu fie în imediata vecinătate a unor falii potenţial active;
— sursa de apă de răcire să fie la distanţă mică şi să permită prelevarea unui debit de circa 1,2 — 2,2 m^3/s pe fiecare unitate, pentru o asigurare de 97% (în soluţia cu circuit închis de răcire).

Analiza arată că din punct de vedere energetic Transilvania este deficitară; în centrul şi nordul Transilvaniei deficitul va ajunge la nivelul anului 1990 la circa 2500 MWe, iar în anul 1995 la circa 2800 MWe, vecinătăţile nedispunînd de un excedent care să poată acoperi acest deficit. Dacă se ţine seama că peste 15 — 20 de ani centralele electrice clasice situate în Transilvania îşi vor fi depăşit de mult durata de viaţă şi vor fi probabil scoase din uz, avem imaginea necesităţii amplasării unor obiective energetice puternice.

Seismicitatea în această arie de interes este de gradul 6 în cea mai mare parte şi de gradul 7 în zone relativ restrînse. Centralele de tip CANDU, care au fost calculate pentru acceleraţie maximă la sol de 0,2 g, sînt comparabile cu seismicitatea din Transilvania.

Exceptînd unele porţiuni din Valea Mureşului, în care terenurile au presiuni admisibile mici, în general pot fi găsite zone pe rîurile interioare cu un teren de fundare corespunzător şi pot fi evitate zonele cu instabilitate geologică generală (cum sînt cele de pe malul drept al Oltului care prezintă fenomene de alunecare), sau zonele cu gaze în subteran.

Principalele rîuri interioare au debite suficiente pentru a satisface cerinţele unei centrale nucleare considerîndu-se circuit închis de răcire. Dificultăţi apar pentru o centrală cu mai mult de unul sau două grupuri pe un amplasament. În cazul că sînt necesare amenajări hidrotehnice de regularizare a debitului, volumele ce trebuie acumulate sînt de circa 15×10^6 la 46×10^6 m^3 pentru fiecare grup în plus peste numărul de grupuri care este asigurat cu apă de răcire în regim natural. De exemplu, pentru un amplasament considerat pe malul stîng al rîului Olt, la Făgăraş, debitul de asigurare de 97% este de circa 4,70 m^3/s. Dacă se iau în considerare consumatorii din amonte şi debitul de servitute pentru această asigurare rezultă un debit disponibil de circa 3,4 m^3/s. Ţinînd seama de compoziţia chimică a apei în secţiunea considerată şi în consecinţă de soluţiile de tratare a apei, debitul necesar pentru o unitate este de circa 1,7 m^3/s. Rezultă că în condiţii de regim natural se pot prelevа debitele necesare pentru două unităţi. Pentru o centrală cu patru unităţi este necesar a se realiza în amonte o acumulare cu un volum de circa 85 milioane m^3; acest lac de acumulare se poate realiza în cadrul unei scheme pentru folosirea potenţialului hidroenergetic al rîului.

Date fiind implicaţiile amplasării unei centrale nucleare legate de amenajarea rîurilor, apare raţional să se coreleze în timp punerea în funcţiune a unităţilor centralei cu realizarea amenajărilor hidrotehnice.

Pe ansamblu, analizînd debitele rîurilor interioare se constată că pentru amplasamente cu una sau două unităţi se poate asigura apa de adaos pentru o schemă cu circuit închis de răcire, iar pentru centrale cu mai mult de două unităţi sînt necesare acumulări cu volum mare.

4. Metodele de selectare a amplasamentelor pe rîuri interioare

Stabilirea unui amplasament pentru o centrală nucleare este un act de mare răspundere, cu implicaţii social-economice şi politice deosebite.

În consecinţă, metoda de selectare trebuie să ţină seama, pe de o parte, de considerente de ordin tehnic şi, pe de altă parte, de aspecte social-economice.

În mod obişnuit esenţa activităţii de selectare a amplasamentului este estimată în valori de investiţie. O astfel de abordare a problemei, deşi dă mai mult ca oricare altă metodă măsura efortului făcut de societate pentru realizarea obiectivului, este dificil de aplicat la fazele preliminare, de selectare a zonelor de amplasare, avînd nevoie de calcule greoaie. Un alt neajuns rezultă şi din faptul că nu se pot cuprinde aspectele calitative specifice centralelor nucleare. O preluare parţială a acestei metode duce la aplicarea extinsă a metodei echivalării condiţiilor.

Ca şi pentru alte obiective, în alegerea amplasamentului pentru CNE se parcurg următorii paşi:

— analiza generală a zonelor de interes, cu identificarea amplasamentelor preferabile (nu mai mult de 20);
— trierea sau alegerea amplasamentelor potenţiale, care să fie în număr de maximum 10;
— compararea acestor amplasamente potenţiale şi identificarea celor mai favorabile amplasării centralei (3 — 5 amplasamente).

Fiecare din acest pas presupune colectarea unui volum foarte mare de date, deosebit de dificil de analizat, fapt ce face ca aplicarea tuturor criteriilor de la primul pas să fie foarte greoaie. Din acest motiv se aleg dintre criteriile enunţate cele de acceptabilitate, în sensul că se determină condiţiile limită la care poate fi acceptat un amplasament.

În consecinţă, se atribuie criteriilor mărimi scalare limită compatibile cu conceptul centralei, cum sînt, de exemplu, gradul maxim de intensitate seismică sau acceleraţia maximă a terenului, presiunea critică pe terenul de fundare, asigurarea zonei de excludere, asigurarea debitului de apă de răcire etc.

Tabelul 1

Matricea de acceptare

Amplasamente	Criterii					
	1	2	3	4	5	6
A	0	0	1	1	1	1
B	1	1	0	0	1	1
C	1	1	1	1	1	1
D	1	1	0	1	1	1
E	1	1	1	1	1	1
F	1	1	1	1	0	0
G	1	1	1	1	1	1
H	1	1	1	1	1	1
I	1	1	1	1	1	1
J	1	0	1	1	1	1
K	1	1	1	1	0	1
L	1	1	1	1	1	1

0 — inacceptabil (excludere)
1 — acceptabil

Practic se realizează o matrice, conform tabelului 1, din care rezultă amplasamentele ce pot fi analizate în pasul următor. În tabelul 1 s-a considerat un număr de 6 criterii de excludere.

În pasul următor se poate aplica metoda ponderii sau a ponderii specifice, alegîndu-se maximum 5 amplasamente mai avantajoase care se supun unei analize aprofundate, cu studii specifice de teren, astfel că în final din comparaţia tehnico-economică rezultă cel mai favorabil amplasament.

La al doilea pas o metodă aplicabilă este cea a echivalării condiţiilor, care oferă posibilitatea unei evaluări rapide şi pune în evidenţă elementele de diferenţiere. Este evident că această metodă poate fi aplicată cu succes şi la un număr mai mare de amplasamente.

Desigur că metodele enumerate formează un instrument în mîna tehnicienilor pentru a furniza factorilor de decizie datele necesare.

Trebuie remarcat că deşi diversitatea problematicii ce se analizează dă o tentă de subiectivitate metodelor, oricare metodă aplicată permite o evaluare a criteriilor de apreciere.

Bibliografie

[1] Osawa, H., Togo, Y. *Application of a quide to reactor site evaluation in Japan.* Containment and Siting of Nuclear Power Plants — Proceedings of a symposium — IAEA, Vienna, 1967.

[2] Inouye, T. *Problems in siting nuclear power plants in Japan.* Containment and Siting on NPP — IAEA, Vienna, 1967.

[3] Boyd, F. C. *Containment and siting requirements in Canada.* Containment and Siting of NPP — IAEA, Vienna, 1967.

[4] Cranche r, D. W. *Criteria for siting nuclear power plants.* Containment and Siting of NPP — IAEA, Vienna, 1967.

[5] Barry, P. J. *Concept of a standard site.* Containment and Siting of N.P.P. — IAE, Vienna, 1967.

[6] Farmer, F.R. *Siting criteria — A new approach.* Containment and Siting NPP — IAEA, Vienna, 1967.

[7] * * * *Safety Guide on Site Survey for Nuclear Power Plant* — IAEA.

[8] Motoiu, C., Vasilescu, N., Mingiuc, C., Wlezek, C. *Centrale nuclearoelectrice de putere mare.* Bucureşti, Editura Tehnică, 1974.

(Primit la 24 februarie 1988, acceptat la 5 aprilie 1988)

Utilizarea modelelor statistice în optimizarea regimurilor de funcționare ale sistemului electroenergetic

Dr. ing. GHEORGHE CÂRȚINĂ, dr. ing. VIRGILIU ALEXANDRESCU *

Descriptori : model statistic, optimizare, sistem electroenergetic

CZ. 621.311.1 : 621.3.017

În lucrare se prezintă cîteva modele statistice care permit determinarea cu ușurință a pierderilor de energie în rețelele electrice complexe. Aceste modele și regimurile corespunzătoare se dovedesc foarte eficiente în optimizarea regimurilor de funcționare ale sistemului electroenergetic.

The report contains some statistical models facilitating energy losses determination in complex systems. These models and the suitable regimes are very efficient for the power grid operation regimes optimization.

Introducere

Modelele statistice înlătură unele dificultăți legate de caracterul probabilist al unor procese din SEE [1] și de costul prohibitiv al unor măsurători [2]. Ele conduc în multe cazuri la punerea la punct a unor metode eficiente în problemele de proiectare și dezvoltare a instalațiilor electroenergetice. Astfel, aceste modele s-au impus de mai mult timp în domeniul determinării pierderilor de energie în rețelele de medie și joasă tensiune [3, 5], precum și în domeniul analizei statistice a sarcinilor rețelelor de distribuție [4, 6].

Plecînd de la importanța pe care o are determinarea corectă a pierderilor de energie în practica conducerii optimale a SEE, a aprecierii unor metode de optimizare, în lucrare se prezintă trei modele statistice care permit determinarea cu ușurință a pierderilor de energie în rețelele electrice complexe. Se arată, de asemenea, că aceste modele și regimurile corespunzătoare pot fi folosite în optimizarea regimurilor SEE. Modelele statistice propuse folosesc caracteristicile statistice ale sarcinilor nodurilor rețelei, determinate din datele care există în practica curentă a exploatării rețelelor electrice.

1. Modele statistice ale pierderilor de energie

Se consideră o rețea complexă cu n noduri. Dintre acestea, nodul $1 = e$ este nodul de echilibru, $(2,m)$ sînt noduri generatoare, iar $(m+1,n)$ sînt noduri consumatoare. Pierderile de putere activă în rețea depind de puterile active și reactive în noduri, care la rîndul lor variază în timp. Deci :

$$\Delta P(t) = \Delta P(P(t),\ Q(t),\ V_e(t)), \qquad (1)$$

unde :

$$P(t) = [P_2(t),\ P_3(t),\ \ldots,\ P_n(t)]_t \qquad (2)$$

$$Q(t) = [Q_2(t), Q_3(t),\ \ldots, Q_n(t)]_t. \qquad (3)$$

Dacă $\Delta P(t)$ se dezvoltă în serie Taylor în jurul valorilor medii ale puterilor active și reactive în noduri :

$$\bar{P}_i = \frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T} P_i(t), \quad \bar{Q}_i = \frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T} Q_i(t), \quad i = 2,n, \qquad (4)$$

considerînd tensiunea în nodul de echilibru constantă se obține, limitînd dezvoltarea la derivatele de ordinul doi :

$$\Delta P(t) = \Delta P(\bar{P}, \bar{Q}) + \sum_{i=2}^{n}\left[\left(\frac{\partial \Delta P}{\partial P_i}\right)_m \cdot (P_i - \bar{P}_i) + \left(\frac{\partial \Delta P}{\partial Q_i}\right)_m \cdot (Q_i - \bar{Q}_i)\right] + \frac{1}{2!}\sum_{i=2}^{n}\sum_{j=2}^{n} \cdot$$

$$\cdot \left[\left(\frac{\partial^2 \Delta P}{\partial P_i \partial P_j}\right)_m \cdot (P_i - \bar{P}_i)(P_j - \bar{P}_j) + \left(\frac{\partial^2 \Delta P}{\partial Q_i \partial Q_j}\right)_m \cdot (Q_i - \bar{Q}_i)(Q_j - \bar{Q}_j) + 2\left(\frac{\partial^2 \Delta P}{\partial P_i \partial Q_j}\right)_m \cdot (P_i - \bar{P}_i)(Q_j - \bar{Q}_j)\right]. \qquad (5)$$

Din relația (5) rezultă mai multe modele statistice interesante, deosebit de utile în calculul pierderilor de energie și chiar al pierderilor de putere în diferite regimuri. De asemenea, aceste modele pot fi folosite în calculul factorilor de penalitate, în determinarea regimurilor optimale etc.

* Dr. ing. Gheorghe Cârțină, dr. ing. Virgiliu Alexandrescu — Catedra de Electroenergetică a Facultății de Electrotehnică, Institutul Politehnic Iași.

1.1. *Modelul statistic I*

Se consideră un regim definit prin puterile active și reactive în noduri și se va nota (P,Q), iar pierderile corespunzătoare de putere prin $\Delta P(P,Q)$. Tensiunea nodului de echilibru este presupusă constantă. Pentru media pierderilor de putere pe perioada T se deduce din relația (5), [7]:

$$\overline{\Delta P_{PQ}} = \Delta P(\bar{P},\bar{Q}) + \mathrm{CORPQ}, \quad (6)$$

unde:

$$\mathrm{CORPQ} = 0{,}5 \sum_{i=2}^{n} \sum_{j=1}^{n} \left[\left(\frac{\partial^2 \Delta P}{\partial P_i \partial P_j} \right)_m \mathrm{Cov}(P_i,P_j) + \left(\frac{\partial^2 \Delta P}{\partial Q_i \partial Q_j} \right)_m \cdot \mathrm{Cov}(Q_i,Q_j) + 2 \left(\frac{\partial^2 \Delta P}{\partial P_i \partial Q_j} \right)_m \cdot \mathrm{Cov}(P_i,Q_j) \right] = a_1 + a_2 + a_3. \quad (7)$$

Relația (6) arată că pentru o rețea cu o configurație neschimbată pe o perioadă T, media pierderilor de putere pe această perioadă poate fi calculată ca suma dintre pierderile de putere în regimul corespunzător puterilor medii în noduri, $(\bar{P}_i, \bar{Q}_i,\ i = 2,n)$, și o corecție dedusă din mărimile statistice corespunzătoare, CORPQ. Covarianțele din (7) se determină cu relații de tipul:

$$\mathrm{Cov}(P_i, P_j) = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^{T} (P_i(t) - \bar{P}_i)(P_j(t) - \bar{P}_j) = \rho_{ij} \cdot \sigma_{P_i} \cdot \sigma_{P_j}, \quad (8)$$

$$\sigma^2_{P_i} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^{T} (P_i(t) - \bar{P}_i)^2, \quad i = 2,\ n. \quad (9)$$

Derivatele parțiale în regimul corespunzător puterilor medii în nodurile rețelei, din relațiile (5) și (7), au expresiile [7]:

$$\left(\frac{\partial^2 \Delta P}{\partial P_i \partial P_j} \right)_m = \left(\frac{\partial^2 \Delta P}{\partial Q_i \partial Q_j} \right)_m = 2 \frac{R_{ij}}{\bar{V}_i \bar{V}_j} \cos \bar{\theta}_{i,j} \quad i,j = 2,\ n, \quad (10)$$

$$\left(\frac{\partial^2 \Delta P}{\partial P_i \partial Q_j} \right)_m = -2 \frac{R_{ij}}{\bar{V}_i \bar{V}_j} \sin \bar{\theta}_{i,j}, i,j = 2,n. \quad (11)$$

Testarea modelului statistic I, ca și a celorlalte modele prezentate în lucrare, s-a făcut prin rularea pe calculator a unor programe corespunzătoare pentru diverse perioade de timp ($T = 4, 12, 24, 48$ ore) și pentru diverse rețele, cu un număr diferit de noduri ($n = 5, 26, 50, 100$). Calculele au fost făcute pentru zile caracteristice de vară și de iarnă din mai mulți ani. Rezultatele au pus în evidență o mare exactitate a modelului statistic I, relația (6). Modelul este exemplificat în articol, pentru ușurința calculelor, cu rețele cu număr redus de noduri. Pentru rețeaua din figura 1 și graficele de sarcină din figurile 2 și 3, rezultatele calculelor sînt

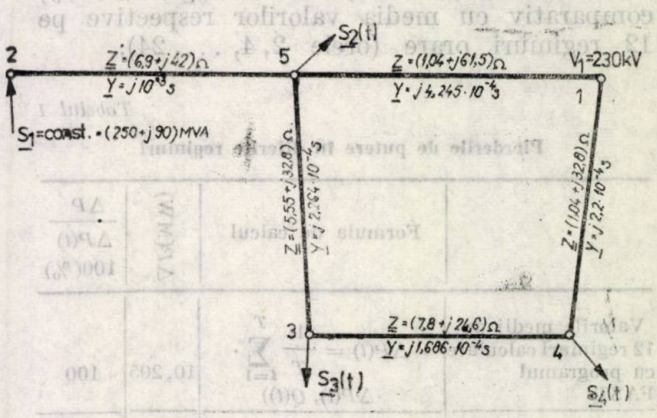


Fig. 1. Schema și parametrii rețelei electrice.

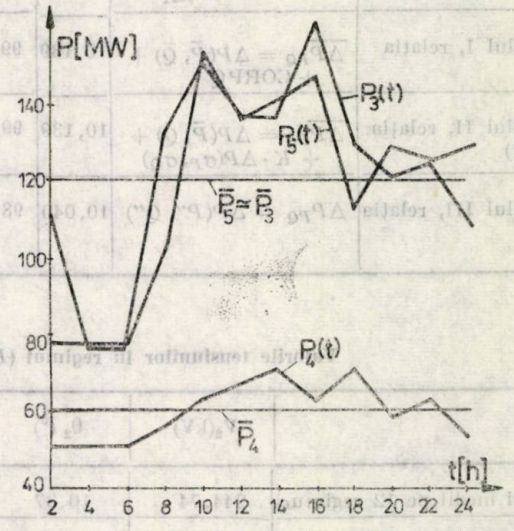


Fig. 2. Variația în timp a puterilor active pentru rețeaua din figura 1.

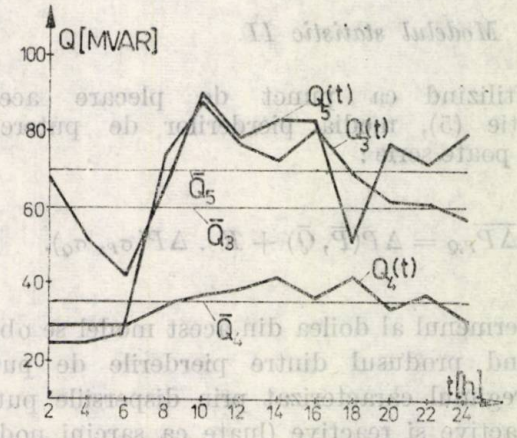


Fig. 3. Variația în timp a puterilor reactive pentru rețeaua din figura 1.

prezentate în tabelul 1. În acest tabel pentru pierderile de putere a fost luată ca mărime de referință și de raportare $\overline{\Delta P(t)}$ — media pierderilor respective obținută prin calculul cu programul FAST a 12 regimuri (orele 2, 4, 6, 8, ..., 24). In tabelul 2 se prezintă valorile tensiunilor obținute în regimul $(\bar{P},\bar{Q})$ comparativ cu media valorilor respective pe 12 regimuri orare (orele 2, 4, ..., 24).

Tabelul 1

Pierderile de putere în diferite regimuri

	Formula de calcul	ΔP(MW)	$\frac{\Delta P}{\Delta P(t)}$ 100(%)
Valorile medii pe 12 regimuri calculate cu programul FAST	$\overline{\Delta P(t)} = \frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T} \cdot \Delta P(t), Q(t))$	10,205	100
Regimul $(\bar{P}, \bar{Q})$	$\Delta P(\bar{P}, \bar{Q}) = \sum_{i=1}^{n} \bar{P}_i$	9,932	97,32
Modelul I, relația (6)	$\overline{\Delta P_{PQ}} = \Delta P(\bar{P}, \bar{Q}) +$ + CORPQ	10,139	99,35
Modelul II, relația (12)	$\overline{\Delta P_{PQ}} = \Delta P(\bar{P}, \bar{Q}) +$ $+ K \cdot \Delta P(\sigma_P, \sigma_Q)$	10,139	99,35
Modelul III, relația (23)	$\Delta P_{PQ} = \Delta P(P'', Q'')$	10,040	98,38

de corelație. Pentru o perioadă dată acesta se calculează cu expresia:

$$K = \frac{\text{CORPQ}}{\Delta P(\sigma_P, \sigma_Q)}. \quad (13)$$

Dacă coeficientul K este calculat anterior sau considerat aproximativ pe bază de experiență, folosirea modelului statistic din relația (12) revine la calculul al două regimuri: regimul $(\bar{P},\bar{Q})$ și regimul (σ_P, σ_Q). Pentru rețeaua și sarcinile considerate anterior rezultă $K = 0{,}21$. Remarcăm faptul că valoarea coeficientului K se modifică în funcție de numărul regimurilor considerate, în funcție de sezon, de an, dar, în general, variază între limite destul de strînse, (0,15 — 0,35). Pentru a ilustra aceasta, în tabelul 3 se prezintă datele corespunzătoare pentru zilele caracteristice de vară și de iarnă ale unei rețele cu 26 noduri.

Este interesant de subliniat faptul că în relațiile (6) și (12) termenul al doilea nu depășește 10% din valoarea lui $\overline{\Delta P(t)}$, care a fost luată ca valoare de referință și deci efortul de calcul pentru reducerea pierderilor de energie trebuie concentrat în primul rînd către reducerea primului termen din aceste modele.

1.3. *Modelul statistic III*

Ținînd seama de expresia pierderilor de putere în funcție de sarcinile în nodurile rețelei, de relațiile (6) și (7), precum și de ponderi-

Tabelul 2

Valorile tensiunilor în regimul $(\bar{P}, \bar{Q})$ comparativ cu media pe cele 12 regimuri

	V_2(kV)	θ_2 (°)	V_3 (kV)	θ_3 (°)	V_4 (kV)	θ_4 (°)	V_5 (kV)	θ_5 (°)
Valori medii pe 12 regimuri	244,74	10,37	221,32	—2,92	223,43	—2,65	229,89	0,82
Valori în regim $(\bar{P}, \bar{Q})$	244,05	10,37	221,64	—2,85	223,64	—2,64	230,2	0,87

1.2. *Modelul statistic II*

Utilizînd ca punct de plecare aceeași relație (5), media pierderilor de putere se mai poate scrie:

$$\overline{\Delta P_{P,Q}} = \Delta P(\bar{P}, \bar{Q}) + K \cdot \Delta P(\sigma_P, \sigma_Q). \quad (12)$$

Termenul al doilea din acest model se obține făcînd produsul dintre pierderile de putere în regimul caracterizat prin dispersiile puterilor active și reactive (luate ca sarcini nodale) și un coeficient K, numit coeficient global

Tabelul 3

Valorile coeficientului K pentru o rețea de 110 kV cu 26 noduri

	K	$\overline{\Delta P_{PQ}}$ (MW)	$\Delta P(\bar{P}, \bar{Q})$ (MW)	$\Delta P(\sigma_P, \sigma_Q)$ (MW)
24 regimuri vara 1981	0,22	1,02	0,96	0,25
24 regimuri iarna 1981	0,32	1,71	1,60	0,37
4 regimuri vara 1981 (2—8—14—20)	0,25	1,14	1,08	0,26
4 regimuri iarna 1981 (4—10—16—22)	0,18	0,98	0,93	0,26

le neglijabile ale termenilor de tip a_3, [7], pentru media pierderilor de putere rezultă expresia :

$$\overline{\Delta P_{PQ}} = \sum_{i=2}^{n}\sum_{j=2}^{n} \frac{R_{ij}}{\bar{V}_i \bar{V}_j} \cos\theta_{ij} \left[\bar{P}_i \bar{P}_j \left(1 + 0{,}5 \frac{\mathrm{Cov}(P_i, P_j)}{\bar{P}_i \bar{P}_j} \right) + \bar{Q}_i \bar{Q}_j \left(1 + 0{,}5 \frac{\mathrm{Cov}(Q_i, Q_j)}{\bar{Q}_i \bar{Q}_j} \right) \right] + \ldots \quad (14)$$

sau,

$$\overline{\Delta P_{QP}} = \Delta P(\bar{P}', \bar{Q}'), \quad (15)$$

unde :

$$\bar{P}'_i = \bar{P}_i \cdot \gamma'_i, \; \bar{Q}'_i = \bar{Q}_i \cdot \delta'_i, \quad i = 2, n, \quad (16)$$

$$\gamma'_i = \frac{1}{n-1} \sum_{j=2}^{n} \left(1 + 0{,}5 \frac{\mathrm{Cov}(P_i, P_j)}{\bar{P}_i \bar{P}_j} \right)^{0{,}5}, \quad (17)$$

$$\delta'_i = \frac{1}{n-1} \sum_{j=2}^{n} \left(1 + 0{,}5 \frac{\mathrm{Cov}(Q_i, Q_j)}{\bar{Q}_i \bar{Q}_j} \right)^{0{,}5}. \quad (18)$$

Relația (15) arată că media pierderilor de putere se poate calcula pe baza unui singur regim, $(\bar{P}', \bar{Q}')$. Pentru rețeaua și sarcinile considerate, relațiile (17) și (18) conduc la următoarele valori :

$$\gamma'_2 = 1{,}000 ; \; \gamma'_3 = 1{,}014 ; \; \gamma'_4 = 1{,}006 ; \; \gamma'_5 = 1{,}011$$
$$\delta'_2 = 1{,}000 ; \; \delta'_3 = 1{,}026 ; \; \delta'_4 = 1{,}008 ; \; \delta'_5 = 1{,}013 \quad (19)$$

Pentru simplificarea calculelor se pot admite și următoarele expresii de calcul :

$$\gamma''_i = \left(1 + 0{,}5 \frac{\mathrm{Cov}(P_i, P_j)}{\bar{P}_i \bar{P}_j} \right)^{0{,}5} \quad (20)$$

$$\delta''_i = \left(1 + 0{,}5 \frac{\mathrm{Cov}(Q_i, Q_j)}{\bar{Q}_i \bar{Q}_j} \right)^{0{,}5} \quad (21)$$

ale căror valori sînt, pentru cazul considerat :

$$\gamma''_2 = 1{,}000 ; \; \gamma''_3 = 1{,}026 ; \; \gamma''_4 = 1{,}007 ; \; \gamma''_5 = 1{,}020,$$
$$\delta''_2 = 1{,}000 ; \; \delta''_3 = 1{,}061 ; \; \delta''_4 = 1{,}008 ; \; \delta''_5 = 1{,}020. \quad (22)$$

În acest ultim caz :

$$\overline{\Delta P_{PQ}} = \Delta P(\bar{P}'', \bar{Q}''), \quad (23)$$

unde :

$$\bar{P}''_i = \bar{P}_i \cdot \gamma''_i, \quad \bar{Q}''_i = \bar{Q}_i \cdot \delta''_i, \quad i = 2, n. \quad (24)$$

Examinarea tabelelor 2 și 3 pune în evidență gradul foarte bun de aproximare pe care îl realizează modelele prezentate mai sus pentru media pierderilor de putere, media valorilor tensiunilor și argumentelor acestora în nodurile rețelei.

2. Utilizarea modelelor statistice

2.1. *Calculul pierderilor de energie*

Utilizînd relațiile (6), (12) sau (23), pierderile de energie pentru o perioadă de timp T se calculează cu relația :

$$\Delta W = \sum_{t=1}^{T} P(P(t)Q(t)) = \overline{\Delta P}_{PQ} \cdot T. \quad (25)$$

În felul acesta se realizează o mare economie de efort de calcul. Este evident că folosind în loc de $\overline{\Delta P_{PQ}}$, $\Delta P(\bar{P}, \bar{Q})$ — modelul I simplificat, se pot calcula pierderile de energie cu aproximație mai mică. Avantajul folosirii termenului $\Delta P(\bar{P}, \bar{Q})$ constă în faptul că pentru calculul regimului respectiv sînt suficiente energiile active și reactive în nodurile rețelei, din care se determină cu ușurință mediile respective în perioada considerată. Acest avantaj nu este de neglijat, mai ales cînd este vorba de predicția pierderilor de energie. Un calcul mai exact ar cere predicția graficelor de sarcină și, pe baza acestora, calculul regimurilor succesive. Pe de o parte, efortul de calcul ar fi considerabil mai mare, iar pe de altă parte, graficele respective se pot realiza cu o anumită probabilitate, mai mare sau mai mică.

2.2. *Calculul pierderilor de putere pentru un regim oarecare*

Dacă se cere determinarea pierderilor de putere pentru un anumit regim, aceasta se poate face utilizînd datele pentru regimul $(\bar{P}, \bar{Q})$ și diferențele $(P_i - \bar{P}_i)$, $(Q_i - \bar{Q}_i)$ care apar în relația (5). Cu o aproximație mai slabă se poate face calculul respectiv dacă în relația (5) se reține doar derivatele de ordinul unu. În acest caz valoarea pierderilor de putere în diverse regimuri este, în general, între 90% și 99% din valoarea exactă, calculată cu programul FAST. Valorile superioare corespund regimurilor apropiate de $(\bar{P}, \bar{Q})$. Un caz aparte îl reprezintă determinarea pierderilor de putere pentru regimul de vîrf de sarcină, plecînd

tot de la regimul $(\bar{P},\bar{Q})$. În afară de folosirea relației (5), pierderile de putere la vîrf de sarcină se mai pot determina și din relația:

$$\Delta P_{max} = \overline{\Delta P_{PQ}} + k \cdot \sigma_P = 10{,}139 + k \cdot 0{,}81, \quad (26$$

unde valoarea lui k se determină în funcție de coeficientul de încredere impus.

2.3. *Optimizarea regimurilor de funcționare*

Pe termen scurt, cînd în perioada respectivă sînt considerate o succesiune de regimuri apropiate, abordarea problemei regimurilor optimale se poate face plecînd, de asemenea, de la regimul $(\bar{P},\bar{Q})$. Acest mod de abordare permite, de altfel, evaluarea mai exactă a eficienței optimizării, prin determinarea mai precisă a pierderilor de energie și deci determinarea mai precisă a unor costuri marginale de tipul μ(kW/Mvar) etc.

În calculul gradienților pierderilor de putere intervin următoarele relații simplificatoare:

$$\mathrm{Cov}(X, K) = 0,\ K - \text{constantă}, \quad (27)$$

$$\mathrm{Cov}(X + K_1, Y + K_2) = \mathrm{Cov}(X, Y),$$
$$K_1, K_2 \text{ constante}. \quad (28)$$

Astfel, pentru optimizarea amplasării surselor reactive într-o rețea, de exemplu, avînd ca funcție obiectiv pierderile de energie, pe baza relației (28) se poate scrie:

$$\frac{\partial \overline{\Delta P(t)}}{\partial Q} = \frac{\partial \overline{\Delta P_{PQ}}}{\partial Q} = \frac{\partial \Delta P(\bar{P},\bar{Q})}{\partial Q}. \quad (29)$$

Relația (28) arată că termenii Cov (Q_i, Q_j) nu se modifică la variația cu o anumită cantitate K a puterilor reactive respective (K este constantă pe perioada respectivă). Din aceste motive efortul de calcul în procesul de optimizare trebuie concentrat asupra regimului $(\bar{P}, \bar{Q})$, simplificare avantajoasă sub toate aspectele.

Deci în perioada respectivă optimizarea se poate face plecînd de la regimul $(\bar{P}, \bar{Q})$, aplicînd metodele obișnuite. Avantajul constă în evaluarea mai exactă a micșorării pierderilor de energie, cu un efort de calcul mai redus.

2.4. *Determinarea factorilor de penalitate*

La repartizarea optimală a puterilor reactive pe centrale, considerarea rețelei de transport se face prin introducerea factorilor de penalitate:

$$L_i = \frac{1}{\beta_i},\quad \beta_i = 1 - \frac{\partial \Delta P}{\partial P_i},\quad i = 2, m, \quad (30)$$

condiția de optim fiind

$$L_i \frac{\partial C}{\partial P_i} = \text{constant}. \quad (31)$$

Coeficienții β_i pot fi determinați comod și cu metoda Jacobianului [10]:

$$[\beta] = -[J]_i^{-1}\left[\frac{\partial P_1}{\partial V}\right], \quad (32)$$

unde $V = [\theta_2 \theta_3 \ldots \theta_n V_{m+1} \ldots V_n]_t$. Folosirea Jacobianului aferent regimului $(\bar{P},\bar{Q})$ se justifică și din considerente practice, regimul optimal căutat fiind cel pe termen scurt și nu cel momentan.

Concluzii

În lucrare se prezintă trei modele statistice eficiente în determinarea pierderilor de energie într-o rețea complexă. Acestea pot fi folosite și la determinarea coeficienților de penalitate, ca punct de plecare în calculul interativ al proceselor de optimizare etc. În felul acesta, pe lîngă o precizie de calcul foarte bună se asigură o reducere substanțială a volumului și efortului de calcul.

Bibliografie

[1] Venikov, V. A. *Cybernetics in Power Systems*. Mir Publishers, Moscow, 1978.

[2] Canal, M., Fieux H., Landry, M. *Le système informatique de gestion des ouvrages BT. Calcul des charges appelées par les réseaux basse tension*. In: RGE, 1984, nr. 2, p. 101–108.

[3] Poeată, A., Poeată, N., Țăranu, V., Georgescu, Gh., Suflețel, N. *Contribuții la calculul pierderilor de energie în rețelele de distribuție urbană prin metoda eșantionării graficelor de sarcină*. CNEE, Craiova, 1984.

[4] Georgescu, Gh., Poeată, A., Poeată, N. *Contribuții la modelarea sarcinilor rețelelor electrice de distribuție urbană*. In: Bul. I.P. Iași, Tom XXVIII, nr. 1–2, p. 87–92, 1983.

[5] Albert, H. *Pierderi de putere și energie în rețelele electrice*. București, Editura Tehnică, 1984.

[6] Ionescu, T., Baciu, A. *Rețele electrice de distribuție*, București, Editura Tehnică, 1981.

[7] Cârțină, Gh. *Le calcul des pertes d'énergie dans les réseaux maillés*. In: Bul. ASE/UCS 72(1983), nr. 21, p. 1220–1225.

[8] Eremia, M., Crisciu, H., Ungureanu, B. Bulac, C. *Analiza asistată de calculator a regimurilor sistemelor electroenergetice*. București, Editura Tehnică, 1985.

[9] Ionescu, S., Ungureanu, B. *Echivalentul REI-Dimo cu nod fictiv. Multiple domenii de utilizare*. In: Energetica, 34, 1986, nr. 6, p. 254–261.

[10] Alvarado, F. L. *Penalty factors from Newton' Method*. In: IEEE Trans., PAS, vol. PAS-97, nr. 6, 1978, p. 2031–2038.

(Primit la 4 ianuarie 1988, acceptat la 5 mai 1988)

Aspecte ale comportării grupurilor generatoare bulb în regimuri tranzitorii

Dr. ing. GEORGE MORAITE, ing. MARINA BOTGROS*

Descriptori : generatoare bulb, regimuri tranzitorii

CZ : 621.311.21 : 621.313.12

Se prezintă rezultatele analizei regimurilor tranzitorii ale grupurilor generatoare bulb, în cazul scurtcircuitelor în rețea. Se propun măsuri de amortizare a oscilațiilor de putere și tensiune în astfel de regimuri.

The results of the transitory regimes of the bulb generating units are presented when short-circuits occur in the network. There are proposed measures of power and voltage oscillations damping in such regimes.

Intrarea în funcțiune, în cadrul sistemului energetic național (SEN), a grupurilor hidrogeneratoare tip bulb a necesitat o cercetare prealabilă a comportării acestora în regimuri tranzitorii provocate de scurtcircuite în rețea, pentru stabilirea unor condiții speciale pe care trebuie să le satisfacă protecția și automatica grupurilor și stației de 110 kV a centralei respective, precum și corelarea protecțiilor prin relee din rețeaua zonală de 110 kV.

Caracteristica principală a acestor grupuri generatoare, care influențează în mod nefavorabil comportarea acestora în regimuri tranzitorii provocate de scurtcircuite polifazate în rețea, o constituie momentul de inerție (rotor turbină + rotor generator), care este sensibil mai redus (cu circa 30% — 50%) față de celelalte grupuri generatoare din SEN. Aceasta conduce la regimuri asincrone ale grupurilor hidrogeneratoare bulb, după perturbații în rețea, care pentru alte tipuri de grupuri nu constituie o cauză a ieșirii din sincronism.

În același timp, în condițiile tehnice pentru aceste grupuri se precizează că ele trebuie separate de rețea imediat după sesizarea regimului asincron, deoarece solicitările lor în astfel de regimuri (în special în ceea ce privește cuplurile de torsiune la arbore) nu sînt admisibile. Menținerea interconectată a grupurilor bulb în regim asincron prezintă și un alt pericol, și anume acela de atragere în regim asincron a altor grupuri generatoare (termo sau hidrogeneratoare) conectate la rețeaua zonală respectivă. Din aceste motive obiectul cercetării îl formează determinarea măsurilor de protecție prin relee a grupurilor generatoare și din rețea, pentru ca regimurile asincrone ale acestor grupuri să fie cît mai puțin frecvente.

De asemenea, s-a urmărit determinarea caracteristicilor necesare ale automaticii de sesizare rapidă a unor astfel de regimuri asincrone pentru acționarea declanșării grupurilor în regim asincron cît mai rapid posibil.

În cele ce urmează ne vom referi la centrala hidroelectrică cu grupuri bulb Porțile de Fier II, pentru care s-a efectuat cercetarea de față.

1. Datele inițiale

1.1. În CHE Porțile de Fier II, funcționează opt grupuri de 27 MW. Pentru grupurile hidrogeneratoare de 27 MW, în conformitate cu proiectul tehnic, s-au luat în considerare următorii parametrii :

- puterea aparentă nominală ..... 27,55 MVA
- tensiunea nominală ..... 6,3 kV
- factorul de putere nominal 0,98
- reactanța sincronă longitudinală 100%
- reactanța sincronă transversală 70%
- reactanța tranzitorie longitudinală ... 42%
- reactanța supratranzitorie 30%
- constanta de timp a înfășurării de excitație cu înfășurarea statorului deschisă 1,65 s.
- constanta de timp a înfășurării de amortizare în axa longitudinală, cu înfășurarea statorică și de excitație în scurtcircuit 0,02
- turația nominală ..... 62,5 rot/min.

Momentul de inerție al grupului bulb, cu considerarea și a inerției coloanei de apă, a rezultat de 2,9 s.

1.2. În ceea ce privește sistemul de reglaj automat al vitezei și excitației (SRAV și SRAE) cu care sînt dotate grupurile bulb de la CHE Porțile de Fier II, acestea au fost modelate în conformitate cu datele furnizate de ICEMENERG.

Structura funcțiilor de transfer respective este prezentată în figurile 1 și 2.

*) Dr. ing. George Moraite, ing. Marina Botgros — Institutul de Studii și Proiectări Energetice București.

1.3. Centrala de la Porțile de Fier II este racordată la sistemul energetic național prin patru linii de 110 kV (conform schemei din figura 3, liniile 1—2, 1—11, 1—9 d.c.).

Pe bara 17 de 110 kV și 7 de 220 kV s-au considerat sistemele echivalente SE_1 și SE_2, care cuprind generatoarele locale și aportul din SEN.

2. Regimuri staționare analizate

S-au analizat regimuri staționare normale (cu toate LEA de evacuare a puterii din centrală în funcțiune), precum și regimuri staționare postavarie cu una sau două linii de evacuare a puterii din centrală retrase din exploatare. În aceste regimuri s-au considerat cele opt

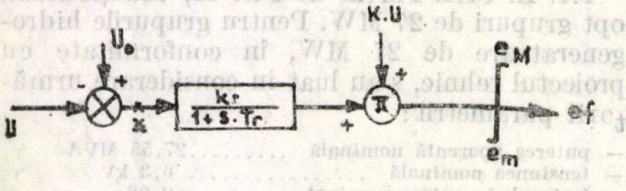


Fig. 2. Schema bloc de principiu pentru SRV

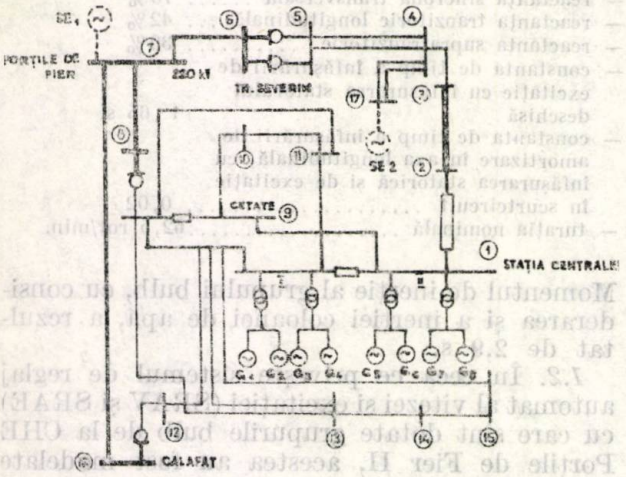


Fig. 3. Schema de principiu de racordare la SEN a CHE Porțile de Fier II.

grupuri încărcate la puterea activă nominală de 27 MW.

În ceea ce privește posibilitatea de producere a puterii reactive, s-a ținut cont de limitările existente în centrală, producția de putere reactivă pe grup fiind considerată de 3 Mvar.

2.1. În regimul staționar normal, cu toate grupurile și liniile în funcțiune, nu apar suprаîncărcări în rețea. Încărcarea maximă a rezultat de circa 83 MW pe LEA 110 kV 1—2.

Nivelul de tensiune în rețeaua de 110 kV este cuprins între 104 și 121 kV.

2.2. Regimurile staționare postavarie cu una sau două linii de evacuare deconectate, se caracterizează prin menținerea nivelului de tensiune în rețeaua de 110, 220 și 400 kV în limite admisibile. Încărcarea maximă în rețeaua de 110 kV în regim cu N — 1 linii în funcțiune este de 93 MW (LEA 1—2), iar în regim cu N — 2 linii în funcțiune, de 107 MW, pe aceeași linie.

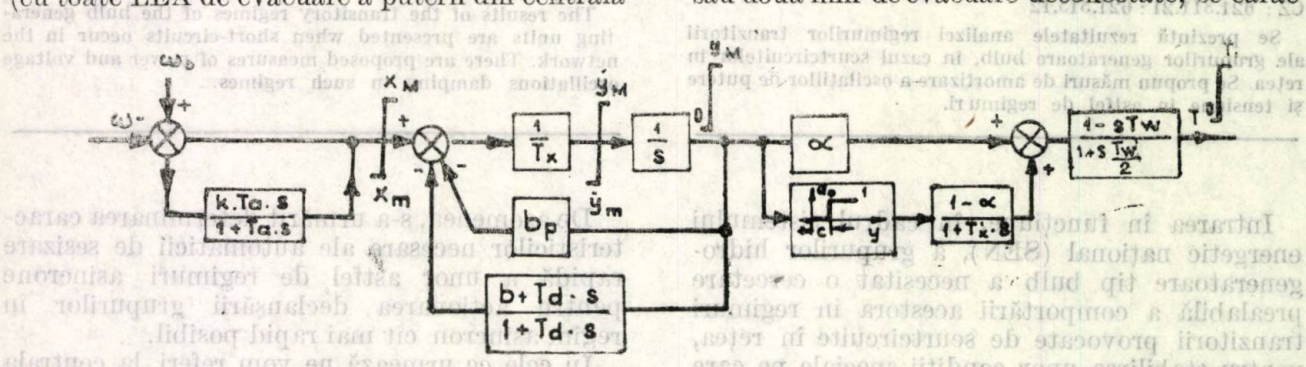


Fig. 1. Schema bloc de principiu pentru SRAV.

3. Analiza comportării grupurilor bulb la scurtcircuite monofazate în rețeaua de 110 kV

S-au analizat următoarele regimuri tranzitorii, în ipoteza că scurtcircuitul monofazat pe linia de 110 kV este eliminat prin protecția de impedanță, cu acționare în trepte (conform reglajului actual).

3.1. Regim tranzitoriu provocat de un scurtcircuit monofazat în apropierea stației 110 kV a centralei, pe LEA 1—2, eliminat prin protecția de impedanță a liniei în treapta I din capătul 1 și în treapta a II-a din capătul 2, cu RART reușit.

Rezultatele de calcul al acestui regim tranzitoriu sînt prezentate în figurile 4 a și 4 b în care variațiile puterii active ale hidrogeneratorului bulb din CHE Porțile de Fier II sînt exprimate în u.r. (raportate la puterea nominală de 27 MW). Variațiile tensiunii la bornele hidrogeneratorului și pe barele de 110 kV ale stației centralei sînt, de asemenea, exprimate în u.r. raportate la tensiunea nominală a generatorului (U_{bN}) de 6,3 kV și respectiv 110 kV (U_{IN}).

Această perturbație conduce la un regim tranzitoriu stabil, cu oscilații ale puterii active și tensiunii la bornele generatorului cuprinse

între 0,92 și 1,14 P_N și respectiv 9,5 și 1,01 U_{bN} după eliminarea scurtcircuitului.

La barele de 110 kV ale stației 1, tensiunea variază între 1,07 și 1,12 U_{IN}.

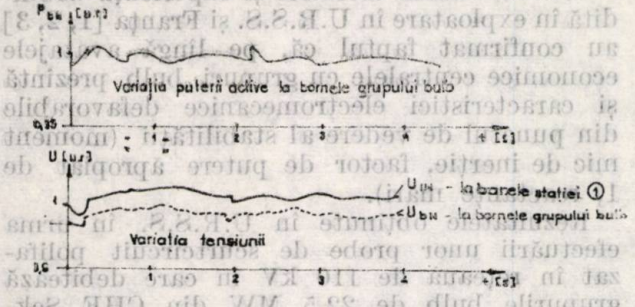


Fig. 4. Regim tranzitoriu provocat de un scurtcircuit monofazat pe LEA 1—2, în apropiere de stația 1.

3.2. Regim tranzitoriu provocat de un scurta circuit monofazat în apropierea stației 2 p-LEA 1—2, eliminat prin protecția de impedanțe a liniei, în treapta I din capătul 2 și în treaptă a II-a din capătul 1, cu RART reușit.

Perturbația considerată conduce la un regim tranzitoriu stabil în cursul căruia amplitudinea maximă a oscilațiilor de putere activă la bornele generatorului este de 1,03 P_N.

Tensiunea la bornele generatorului și pe barele stației 110 kV a centralei oscilează cu valori cuprinse între 0,95 și 1,01 U_{bN} și respectiv 1,07 și 1,12 U_{IN}.

4. Analiza comportării grupurilor bulb la scu circuite trifazate în rețeaua de 110 kV

S-au analizat următoarele regimuri tranzitorii:

4.1. Regim tranzitoriu provocat de un scurtcircuit trifazat în apropierea stației 110 kV a centralei, pe LEA 1—2, eliminat prin protecție de impedanță a liniei în treapta I din capătul 1 și treapta a II-a din capătul 2 cu RART. Regimul este instabil. Pierderea sincronismului se manifestă prin oscilații neamortizate ale puterii active la bornele generatoarelor grupurilor bulb, cu inversare de sens și ale tensiunii la bornele generatorului. Oscilațiile au o perioadă de circa 50 — 60 ms (fig. 5). După eliminarea scurtcircuitului, oscilațiile puterii active sînt cuprinse între — 1,4 și + 2,03 P_{bN}, iar ale tensiunii la borne între 0,22 și 1,12 U_{bN}.

Pierderea sincronismului generatoarelor bulb are ca efect antrenarea în regim asincron și a grupului de 60 MW din SE 2, care prezintă oscilații ale puterii active cu inversare de sens cu valori cuprinse între 1,95 și 1,18 P_{bN} și ale tensiunii pe bara 17 de 110 kV între 0,4 și 1,12 U_{IN}. Perturbația conduce și la oscilații de mare amplitudine, dar amortizate, ale puterii active a grupurilor de 175 MW conectate la bara 7 (SE 1), cu valori cuprinse între 0,14 și 1,8 P_{bN} și cu oscilații ale tensiunii pe bara 7 de 220 kV, cu valori minime pînă la 0,64 U_{IN}.

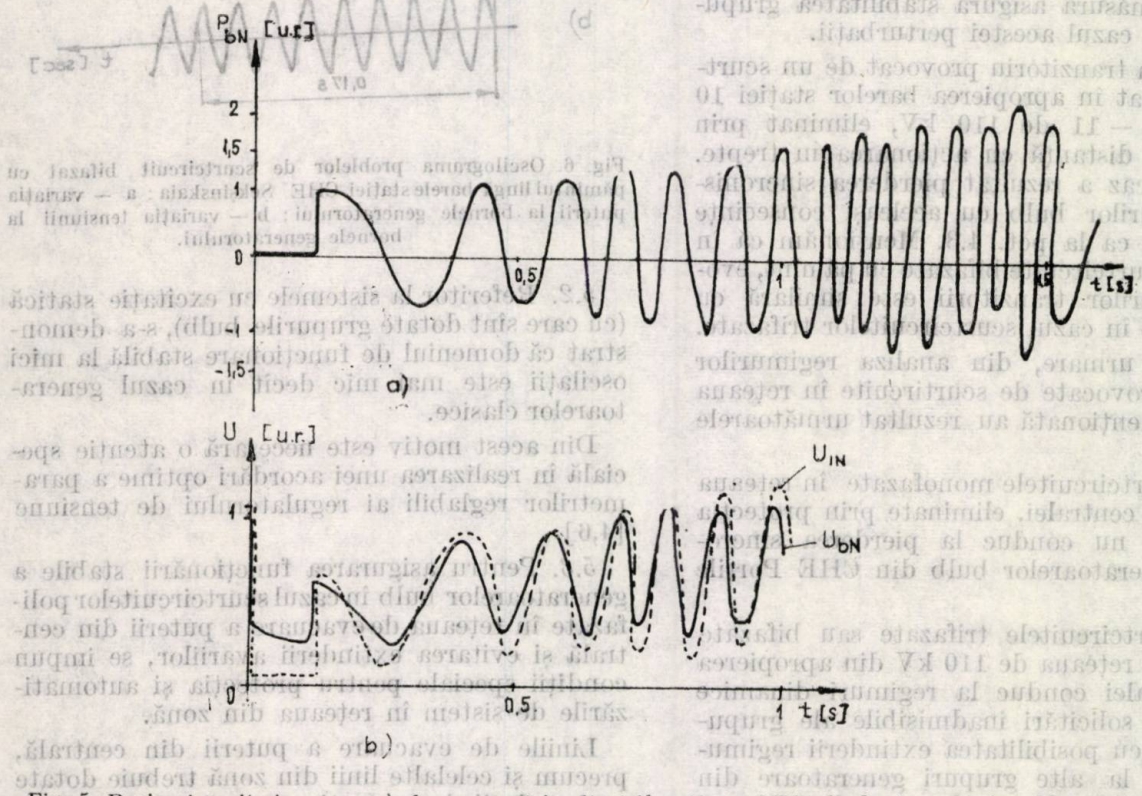


Fig. 5. Regim tranzitoriu provocat de un scurtcircuit trifazat pe LEA 1—2, în apropiere de stația 1: a — variația puterii active la bornele grupului bulb; b — variația tensiunii U_{bN} la bornele grupului bulb și U_{IN} la barele stației 1.

4.2. În scopul evitării pierderii sincronismului a patru grupuri din centrala Porțile de Fier II, s-a considerat deschiderea neselectivă și netemporizată a cuplei în stațiile 110 kV 1 și 9, cu controlul scăderii tensiunii pe barele respective sub 30% U_{IN}.

Această măsură ar fi eficientă numai dacă timpul total de eliminare a scurtcircuitului trifazat nu ar depăși 80 ms, condiție ce nu poate fi realizată însă cu echipamentele actuale din stația centralei (întrerupător și relee).

4.3. Regim tranzitoriu provocat de un scurtcircuit trifazat în apropierea stației 2 pe LEA 1—2, eliminat în treapta I din capătul 2 și în treapta a II-a din capătul 1. A rezultat și în acest caz pierderea sincronismului grupurilor bulb.

Regimul asincron neamortizat al acestora, se caracterizează prin inversări ale puterii active la borne cu o perioadă de circa 50 ms, cu amplitudinea maximă pozitivă de circa 1,7 P_{bN} și maximă negativă de circa 1,22 P_{bN}.

Tensiunea la bornele generatorului, după eliminarea scurtcircuitului, variază între 0,2 și 1,09 U_{bN}. Tensiunea pe barele stației 110 kV a centralei are oscilații cu valori cuprinse între 0,17 și 1,16 U_{IN}.

Regimul asincron al generatoarelor bulb din CHE Porțile de Fier II se extinde și la generatoarele locale din SE 2.

Efectul aceleiași perturbații s-a analizat și în ipoteza prelungirii treptei rapide a protecției de distanță din capătul 1 pe LEA 1—2. A rezultat că această măsură asigură stabilitatea grupurilor bulb în cazul acestei perturbații.

4.4. Regim tranzitoriu provocat de un scurtcircuit trifazat în apropierea barelor stației 10 pe LEA 10 — 11 de 110 kV, eliminat prin protecția de distanță cu acționarea în trepte. Și în acest caz a rezultat pierderea sincronismului grupurilor bulb cu aceleași consecințe pentru SEN ca la pct. 4.3. Menționăm că în cazul unor scurtcircuite bifazate cu pămînt, evoluția regimurilor tranzitorii este similară cu cea rezultată în cazul scurtcircuitelor trifazate.

4.5. Prin urmare, din analiza regimurilor tranzitorii provocate de scurtircuite în rețeaua de 110 kV menționată au rezultat următoarele concluzii :

4.5.1. Scurtcircuitele monofazate în rețeaua de 110 kV a centralei, eliminate prin protecția de distanță, nu conduc la pierderea sincronismului generatoarelor bulb din CHE Porțile de Fier II.

4.5.2. Scurtcircuitele trifazate sau bifazate cu pămînt în rețeaua de 110 kV din apropierea stației centralei conduc la regimuri dinamice instabile, cu solicitări inadmisibile ale grupurilor bulb și cu posibilitatea extinderii regimului asincron la alte grupuri generatoare din zonă. Se pune astfel problema realizării unei automatizări care să deconecteze, cît mai rapid posibil, grupurile bulb în regim asincron.

5. Stadiul problemei în alte țări

5.1. Cercetările teoretice și experiența dobîndită în exploatare în U.R.S.S. și Franța [1, 2, 3] au confirmat faptul că, pe lîngă avatajele economice centralele cu grupuri bulb prezintă și caracteristici electromecanice defavorabile din punctul de vedere al stabilității (moment mic de inerție, factor de putere apropiat de 1, reactanțe mari).

Rezultatele obținute în U.R.S.S. în urma efectuării unor probe de scurtcircuit polifazat în rețeaua de 110 kV în care debitează grupurile bulb de 22,5 MW din CHE Șekșinskaia [5] au confirmat rezultatele cercetării de față : pierderea sincronismului grupurilor și caracteristica oscilațiilor regimurilor asincrone, respectiv perioada de circa 50 — 60 ms a oscilațiilor puterii active la bornele generatorului (fig. 6).

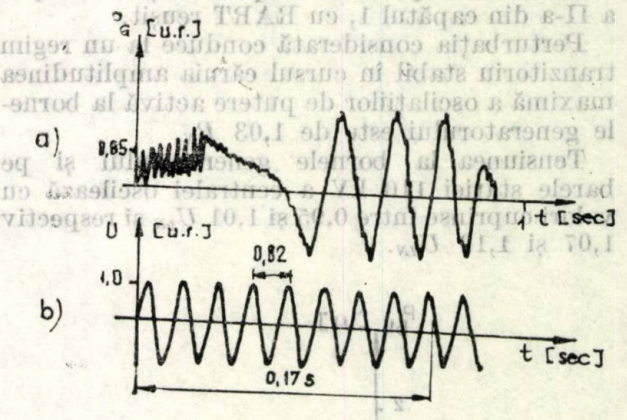


Fig. 6. Oscilograma problelor de scurtcircuit bifazat cu pămîntul lîngă barele stației CHE Șekșinskaia : a — variația puterii la bornele generatorului ; b — variația tensiunii la bornele generatorului.

5.2. Referitor la sistemele cu excitație statică (cu care sînt dotate grupurile bulb), s-a demonstrat că domeniul de funcționare stabilă la mici oscilații este mai mic decît în cazul generatoarelor clasice.

Din acest motiv este necesară o atenție specială în realizarea unei acordări optime a parametrilor reglabili ai regulatorului de tensiune [4,6].

5.3. Pentru asigurarea funcționării stabile a generatoarelor bulb în cazul scurtcircuitelor polifazate în rețeaua de evacuare a puterii din centrală și evitarea extinderii avariilor, se impun condiții speciale pentru protecția și automatizările de sistem în rețeaua din zonă.

Liniile de evacuare a puterii din centrală, precum și celelalte linii din zonă trebuie dotate cu instalații de protecție care să asigure elimi-

narea rapidă a defectului de pe toată lungimea liniilor [3,4].

5.4. În U.R.S.S. s-a realizat o automatică [*3,4*] care sesizează creșterea vitezei generatorului peste turația nominală (la circa 112%), precum și creșterea curentului statoric peste 1,3 I_{nom}.

În aceste condiții, automatica realizează deconectarea grupului respectiv.

5.5. Una din metodele utilizate în U.R.S.S. [5] pentru stabilizarea grupurilor bulb este metoda frînării electrice prin rezistențe. Astfel generatoarele de 22,5 MW din CHE Șekșinskaia au fost dotate cu instalații de frînare electrică individuale, alcătuite din rezistoare conectate în serie cu circuitul statoric al hidrogeneratorului, printr-un întrerupător rapid care șuntează rezistoarele în regim normal.

Schema de comandă a instalației de frînare electrică asigură deconectarea întrerupătoarelor într-un timp total $\leqslant 30$ ms. Probele de scurtcircuit polifazat efectuate în aceste condiții au condus la un regim stabil al grupurilor bulb.

Utilizarea acestei metode impune însă condiții deosebit de severe în ceea ce privește caracteristicile echipamentelor de conectare și deconectare a rezistoarelor.

6. Măsuri de protecție și automatizări

Din analiza regimurilor tranzitorii ale grupurilor bulb din Porțile de Fier II după scurtcircuite polifazate în rețeaua de evacuare a puterii din zona centralei (prezentată la pct.4), a rezultat necesară adoptarea, în etapa actuală, a următoarelor măsuri speciale de protecție și automatizări de sistem :

6.1. Prelungirea treptei rapide a protecției de distanță la defecte polifazate pe liniile de 110 kV de evacuare a puterii din centrală pînă la bara a III-a, în raport cu stația centralei Porțile de Fier II, cu menținerea RART.

Pentru evitarea riscului acționărilor neselective, datorită adoptării acestei măsuri, se propune dotarea LEA 110 kV d.c. 1—9 cu echipament de înaltă frecvență, urmînd ca această măsură să se realizeze în viitor la toate liniile pentru care s-a propus prelungirea treptei rapide a protecției de distanță.

6.2. Realizarea unei automatici de deconectare rapidă a grupurilor bulb în regim asincron, care să comande deconectarea grupurilor la îndeplinirea următoarelor două criterii (cu memorizare de circa 1 s) : inversarea puterii active și scăderea tensiunii la bornele generatorului. Schema trebuie realizată cu relee statice de putere activă și tensiune, cu coeficient de revenire de minimum 0,95.

6.3. Menținerea actualei automatici de declanșare secvențială a grupurilor bulb la suprasarcină pe LEA de 110 kV, de evacuare a puterii din CHE Porțile de Fier II.

Concluzii

Din cercetarea efectuată au rezultat ca necesare anumite măsuri speciale de protecție prin relee și automatică în rețeaua de 110 kV din zona stației CHE Porțile de Fier II, în scopul evitării extinderii efectului scurtcircuitelor polifazate asupra altor centrale electrice din zonă.

De asemenea, a rezultat necesară o automatică de sesizare a regimurilor asincrone ale grupurilor bulb, pentru declanșarea lor rapidă de la rețea în asemenea regimuri. Această măsură se impune și pentru evitarea solicitărilor mecanice care, conform proiectului tehnic, sînt inadmisibile. Este necesar ca și celelalte grupuri bulb din SEN să fie dotate cu o asemenea automatică de declanșare a lor în regimuri asincrone.

În ceea ce privește rețeaua de 110 kV de racordare la SEN a altor centrale electrice cu grupuri bulb, considerăm că pentru fiecare zonă este necesar să se examineze oportunitatea adoptării unor măsuri de felul celor menționate la pct. 6.2.

Referitor la mijloacele de stabilizare a grupurilor bulb după scurtcircuite polifazate în rețea, acestea vor trebui să facă obiectul unei cercetări speciale, din care să rezulte condițiile tehnice și economice pentru adoptarea în SEN a unor asemenea soluții.

Bibliografie

[1] Faral, M., Favez, B., Ruelle, G. *L'emploi des groupes boulbes pour l'équipement des grandes centrales hidroélectriques de basse chute.* CIGRE, rap. 161, 1962.

[2] Anucikov, A.N., Korhov, I.F., Prusov, R.I. *Opît ekspluatații kapsulnîh ghidrogheneratorov Cerepoveţkoi GES.* In : Elektriceskie stanții, 1970, nr. 2, pag. 29.

[3] Gheorghe, O., Ștefănescu, V.Z. *Particularitățile instalațiilor de protecție și automatizări aferente rețelelor în care debitează hidrogeneratoare-bulb.* In : Energetica, 24, 1976, nr. 12, p. 329—335.

[4] Anucikov, A.N. *Nekotorîe voprosi ekspluatații gorizontalnovo kapsulnovo ghidrogheneratora.* In : Elektriceskie stanții, 1968, nr. 3, pag. 74—76.

[5] Korhov, I.F., Ragozin, A.A., Panco, S.N., Iakovlev, O.I., Gruzdev, I.A., Rodcenko, E.A., Anucikov, A.N., Pianov, E.E. *Eksperimentalnie isledovanie posledovetalinovo electriceskovo tormojenia kapsulnih ghidrogheneratorov.* In : Elektriceskie stanții, 1978, nr. 2, pag. 64.

[6] Sovalov, S.A. *Eksperimentalnie isledovanie rejimov energosistem.* Moskva, 1985, pag. 289—291.

(Primit la 24 februarie 1988, acceptat la 3 mai 1988)

Unele considerații asupra valorificării complexe a șisturilor bituminoase din zona Anina

Dr. ing. MIHAI POP, ing. SORIN PRESSEL*

Descriptori : șisturi bituminoase

CZ : 621.311.22/23 :665.521.8

Articolul prezintă o analiză, din punct de vedere energetic, a treptelor posibile de prelucrare a șisturilor bituminoase din bazinul Anina, în scopul valorificării complexe. Principalele produse care se pot obține sînt : concentratul de fier și energia electrică, direct din șistul bituminos, și alumină, ciment și materiale de construcții din cenușa rezultată la termocentrală.

Analiza arată că valorificarea complexă a șisturilor bituminoase de Anina, pe baza tehnologiilor actuale de prelucrare, ar necesita un consum cu peste 50% mai mare decît energia produsă din șistul prelucrat.

Această situație conduce la concluzia că valorificarea complexă a șisturilor bituminoase este economică din punct de vedere energetic în mai multe ipoteze, spre exemplu dacă costurile de producție pentru energia electrică suplimentară, necesară diferitelor trepte de prelucrare, sînt mai mici decît prețul de procurare din import, în cantități echivalente, a bauxitei și minereului de fier.

The paper presents an a analysis based on the energy criterion of the possible processing stages of the Anina oil shales, for complex turning to account purposes. The following main products can be obtained : iron concentrate and electric power directly from the oil shales, and aluminium oxide, cement and construction materials from the ash discharged from the thermal power plant.

The analysis points out that the complex turning to account of the Anina oil shales, on the basis of the present processing technologies would require a power consumption higher with over 50% than the power generated by the shales.

This leads to the conclusion that the complex turning to account of the oil shales is economic as far as the energy criterion is concerned, in various assumptions, for example only if the production costs of the additional electric power, required by the various processing stages, are lower than the prices, in equivalent quantities, of the imported bauxite and iron one.

Introducere

Prin hotărîrea Comitetului Politic Executiv al C.C. al P.C.R. din 15. 02. 1972 s-a decis începerea studiilor și cercetărilor pentru valorificarea complexă a șisturilor bituminoase din zăcămîntul de la Anina. Sarcina de coordonare a programului de valorificare complexă a fost încredințată Ministerului Industriei Metalurgice, cu participarea celorlalte ministere cu activități specifice în domeniu.

Programul de valorificare complexă cuprinde șapte subprograme cu următoarea tematică :

1 — exploatarea minieră a șisturilor bituminoase ;

2 — utilizarea șisturilor bituminoase pentru ardere în termocentrală ;

3 — producerea de echipamente energetice funcționînd pe șisturi bituminoase ;

4 — extragerea aluminei și fierului din cenușile rezultate de la termocentrală ;

5 — producerea uleiului de șist ;

6 — prelucrarea uleiului de șist ;

7 — fabricarea cimentului și a materialului de construcții din cenușa de termocentrală.

Toate aceste subprograme conțin tehnologii noi, care au făcut obiectul cercetărilor în diverse etape începînd din 1972 pînă în prezent.

Cercetările întreprinse în baza acestor subprograme au condus la determinarea procedeelor tehnologice care în prezent se găsesc în diferite faze, astfel :

— tehnologiile legate de exploatarea minieră a șisturilor bituminoase, producerea echipamentelor energetice pentru funcționare cu șisturi bituminoase și realizarea unei termocentrale pe șisturi bituminoase sînt executate la nivel industrial, necesitînd în continuare unele îmbunătățiri și optimizări rezultate din funcționarea de probă a primului bloc energetic de 330 MW pe șisturi bituminoase ;

— tehnologiile legate de producerea aluminei, cimentului și concentratului de Fe au fost verificate pe instalații pilot, urmînd a se trece la execuția instalațiilor la nivel industrial :

— tehnologiile legate de extragerea uleiului de șist și prelucrarea acestuia sînt în continuare în faza de cercetări de laborator urmînd să fie continuate pînă la atingerea unor parametri economici acceptabili.

Lucrarea de față urmărește aspectul energetic al acestor tehnologii. Nu sînt cuprinse în analiză tehnologiile legate de producerea uleiului de șist și prelucrarea acestuia, care nu oferă încă concluzii la scară industrială.

1. Schema valorificării complexe

Schema valorificării complexe a șisturilor bituminoase de Anina extrase din carieră și arse în termocentrală, precum și bilanțul material, sînt prezentate în figura 1.

După cum se observă, șistul bituminos conținut în zăcămînt suportă șase trepte de prelucrare :

— treapta I — exploatarea șistului — cu un singur produs, prelucrabil în continuare, șistul brut, considerat cantitativ 100% ;

— treapta a II-a — sortarea șistului — cu două produse, ambele prelucrabile în continuare : 3% siderită din care se prepară concen-

* Dr. ing. Mihai Pop, ing. Sorin Pressel — Institutul de Studii și Proiectări Energetice, București

tratul de Fe ca produs finit (fig. 2) și 97% șist sortat, destinat arderii în termocentrală;

— treapta a III-a — arderea șistului sortat în termocentrală — cu două produse finite : energia electrică, obținută prin conversia masei combustibile care reprezintă 16,2% din totalul șistului extras și 14,6 % zgură cu utilizare directă în construcția de drumuri și un produs prelucrabil în continuare, cenușa, reprezentînd 57% din totalul șistului extras. O parte din această cenușă, 10,7%, are o utilizare directă în producția materialelor de construcții, iar cealaltă parte, 46,3%, este destinată extragerii aluminei;

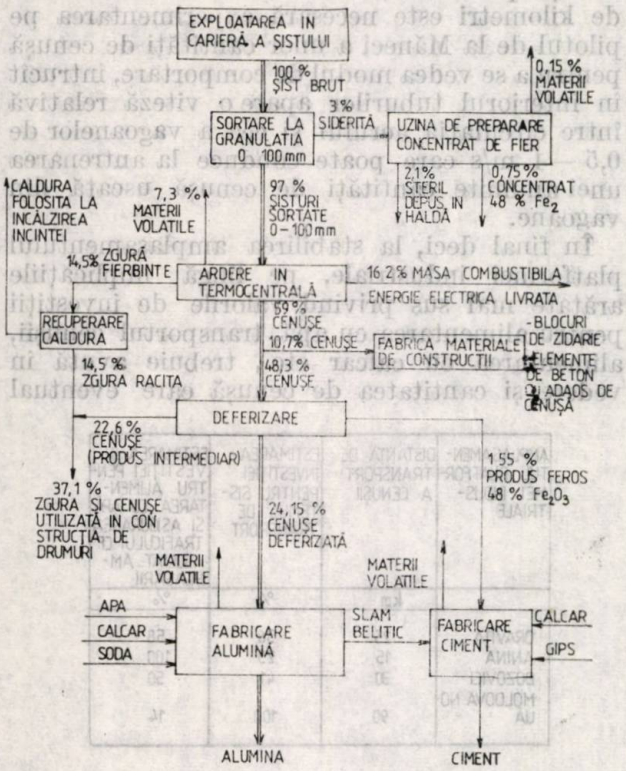


Fig.. 1

— treapta a IV-a — deferizarea cenușii — cu două produse finite : 1,55% produs feros cu utilizare directă în producția cimentului și 22,6% o cenușă obținută ca produs intermediar, care nu mai poate fi folosită în continuare decît împreună cu zgura în construcția de drumuri, și un produs prelucrabil în continuare : cenușa deferizată, reprezentînd 24,15% din totalul șistului extras;

— treapta a V-a — fabricarea aluminei — cu un produs finit : alumina, obținută prin adaosul la cenușa deferizată a unor importante cantități de calcar, apă și sodă caustică care reprezintă 2,2% din totalul cantității de amestec, și un produs prelucrabil în continuare : șlamul belitic, reprezentînd 26,7% din totalul cantității de amestec (fig. 3);

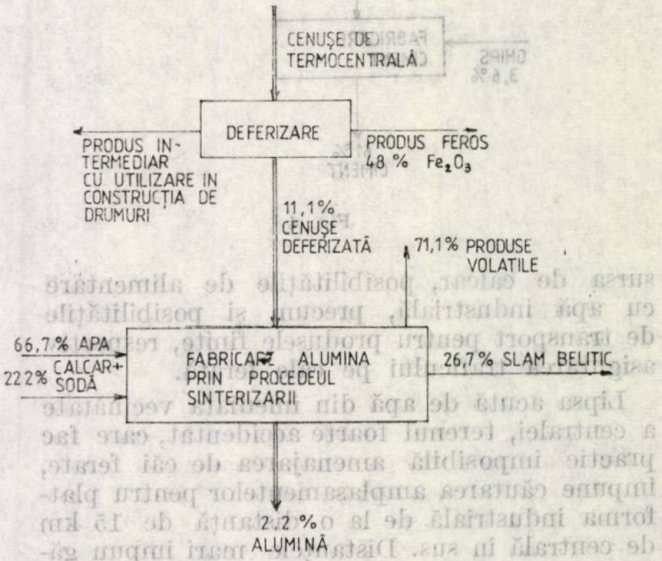


Fig. 3

— treapta a VI-a — fabricarea cimentului — cu un produs finit : cimentul obținut prin adăugarea la șlamul belitic a unor cantități de calcar și ghips. Cantitatea de ciment obținută reprezintă 61% din totalul cantității de amestec (fig. 4).

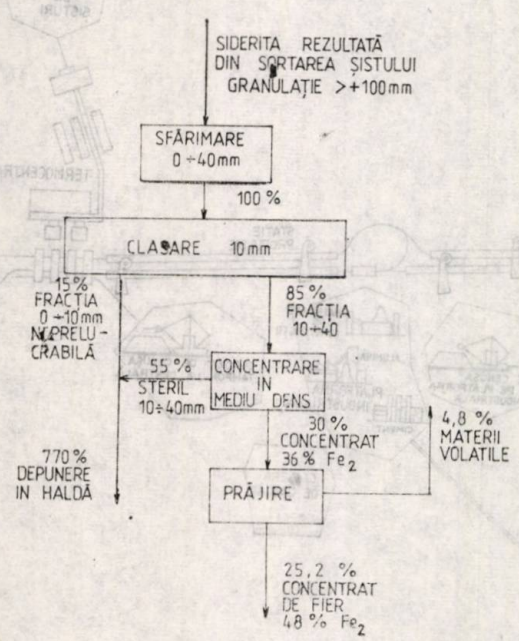


Fig. 2

2. Analiza posibilităților de amplasare a unităților industriale de valorificare complexă a șisturilor

După cum se observă din schema valorificării complexe a șisturilor, precum și din procedeele tehnologice aplicate, producerea aluminei, cimentului și a material lor de construcții din

cenușă, necesită importante cantități de apă și calcar. În aceste condiții amplasarea platformei industriale trebuie să reprezinte un optim între distanța față de termocentrală pentru transportul cenușii, distanța față de

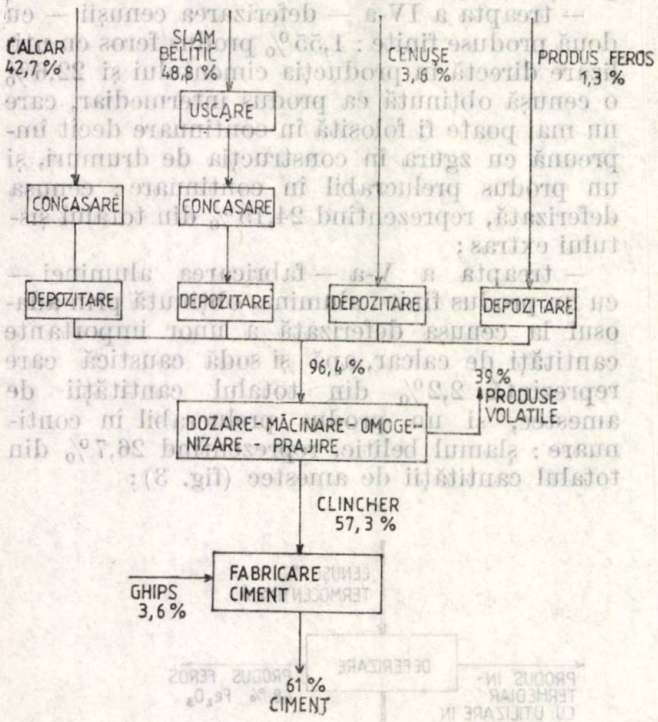


Fig. 4

sursa de calcar, posibilitățile de alimentare cu apă industrială, precum și posibilitățile de transport pentru produsele finite, respectiv asigurarea traficului pe cale ferată.

Lipsa acută de apă din imediata vecinătate a centralei, terenul foarte accidentat, care fac practic imposibilă amenajarea de căi ferate, impune căutarea amplasamentelor pentru platforma industrială de la o distanță de 15 km de centrală în sus. Distanțele mari impun găsirea unor soluții adecvate pentru transportul cenușii, în stare uscată, de la termocentrală la platforma industrială. Această soluție are în vedere un sistem de transport aeropropulsiv conteinerizat, bazat pe efectul Coandă.

Amplasamentele potențiale ale platformei industriale, precum și schema de principiu a sistemului de transport sînt prezentate în figura 5.

Principial, instalația de transport aeropropulsiv conteinerizat constă într-un traseu bitubular avînd diametrul de 1600 mm, în care circulă garnituri de teren formate din vagoneți deplasabili pe o șină sudată în interiorul tuburilor. Deplasarea garniturilor de vagoneți se asigură prin crearea unei depresiuni în fața trenului, în cazul vagoanelor încărcate, și a unei suprapresiuni în spatele trenului, în cazul vagoanelor goale la întoarcere.

Un pilot al acestui sistem de transport a fost realizat în localitatea Măneci, județul Prahova, experimentările făcute demonstrînd funcționalitatea instalației.

Pentru aplicarea acestei soluții la transportul cenușii pe distanțe de ordinul a citorva zeci de kilometri este necesară experimentarea pe pilotul de la Măneci a unor cantități de cenușă pentru a se vedea modul de comportare, întrucît în interiorul tuburilor apare o viteză relativă între circulația aerului și cea a vagoanelor de 0,5 — 1 m/s care poate conduce la antrenarea unei anumite cantități de cenușă uscată din vagoane.

În final deci, la stabilirea amplasamentului platformei industriale, pe lîngă implicațiile arătate mai sus privind valorile de investiții pentru alimentarea cu apă, transportul cenușii, alimentarea cu calcar etc., trebuie avută în vedere și cantitatea de cenușă care eventual

AMPLASAMENTUL PLATFORMEI INDUSTRIALE	DISTANȚA DE TRANSPORT A CENUȘII	ESTIMAREA INVESTIȚIEI PENTRU SISTEMUL DE TRANSPORT	ESTIMAREA INVESTIȚIEI PENTRU ALIMENTAREA CU APĂ ȘI ASIGURAREA TRAFICULUI CF ASOCIAT AMPLASĂRII
	km	%	%
ORAVIȚA	25	36	58
ANINA	15	25	100
BOZOVICI	30	41	50
MOLDOVA NOUĂ	90	100	14

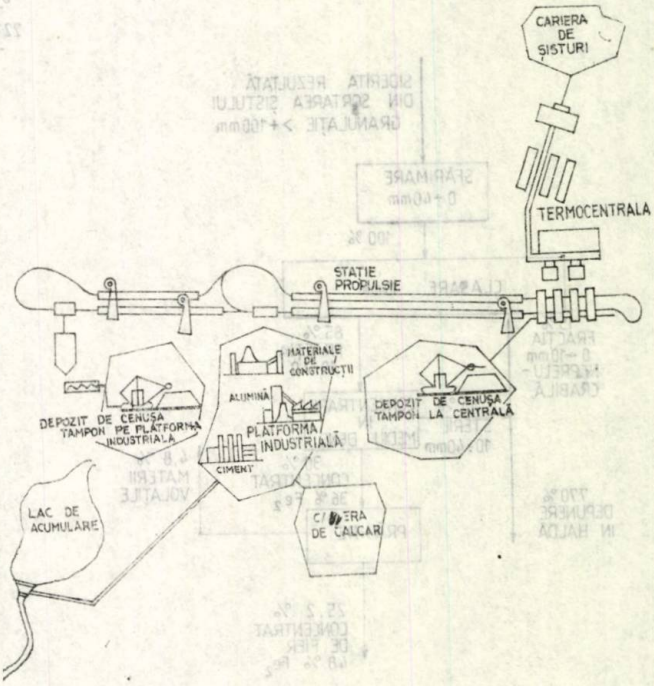


Fig. 5

Tabelul 1

	Consum de hidrocarburi pe unitatea de produs	Consum de energie electrică pe unitatea de produs	Consum total energetic [tc.c./an]
Extragerea șistului din carieră	0,066 tc.c./t șist	10 kWh/t șist	7,9 %
Extragerea concentratului 48 % Fe	138,8 m³ gaze/t	63,5 kWh/t	0,4 %
Fabricarea aluminei	1,25 t păc./t	1750 kWh/t	43 %
Fabricarea cimentului	0,138 tc.c./t	110 kWh/t	38 %
Producerea energiei electrice	—	0,14 — 0,28 kWh/kWh produsă	6,5 %
Producerea materialelor de construcții	—	—	4,2 %
Total			100 %

este antrenantă de instalațiile de propulsie, soluționarea reținerii acesteia și analiza gradului de poluare a zonei.

Unele aspecte privind criteriile de departajare a amplasamentelor potențiale sînt arătate procentual în figura 5.

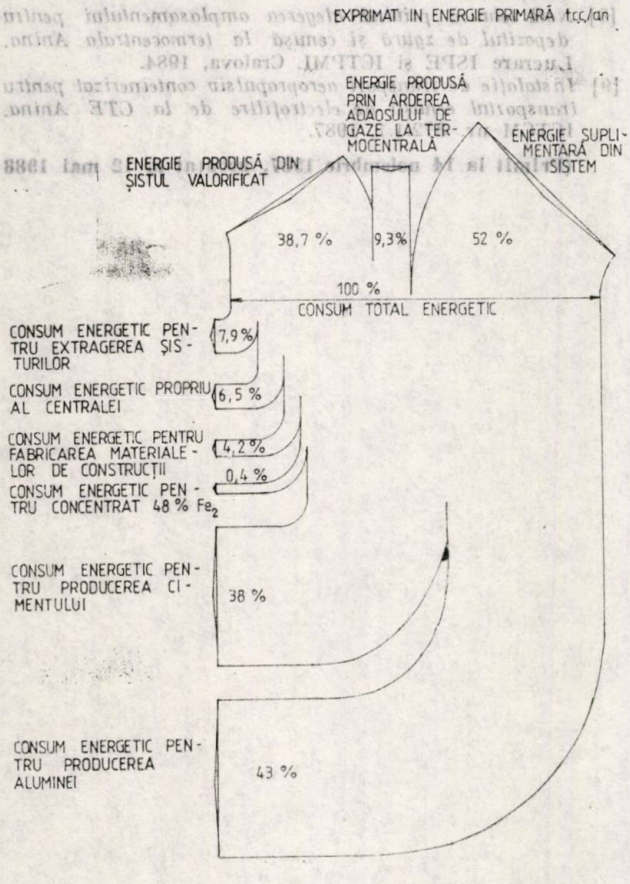


Fig. 6

3. Bilanțul energetic al valorificării complexe a șisturilor bituminoase

Toate treptele de prelucrare a șistului conținut în zăcămînt necesită, conform tehnologiilor stabilite, o serie de consumuri energetice evidențiate în tabelul 1.

Aceste consumuri energetice ating valori importante, în special în cazul producerii aluminei prin procedeul sinterizării cu calcar, fiind cu 200 % mai mare decît în cazul producerii aluminei din bauxită din import, precum și la fabricarea cimentului din șlamul belitic, cînd consumul energetic este cu 11 % mai mare față de procedeul clasic ; de asemenea un consum important energetic îl reprezintă extragerea șistului din carieră datorită, în special, volumului mare de transport cu mijloace auto, atît a sterilului rezultat din descopertări, cît și a șistului brut.

În figura 6 se prezintă sub formă grafică bilanțul energetic al valorificării complexe a șisturilor bituminoase.

Concluzii

Din analiza consumurilor energetice în procesul de valorificare complexă a șisturilor bituminoase rezultă că perspectiva reducerii acestora în viitorul apropiat este limitată, deoarece :

— producerea aluminei din cenușă deferizată prin procedeul sinterizării cu calcar a rezultat ca cea mai economică din trei soluții cercetate la nivel de laborator și pilot industrial și este puțin de așteptat ca prin trecerea la aplicația industrială a procedeului să apară o reducere considerabilă a consumului energetic ;

— producerea cimentului din şlamul belitic necesită un consum energetic cu 11% mai mare decît procedeul clasic datorită necesităţii eliminării umidităţii de 27% al acestuia, deci nici de aici nu este de aşteptat o reducere a consumului energetic;

— consumul propriu tehnologic al termocentralei reprezintă 14% din producţie, valoare aflată la limita inferioară pentru o termocentrală pe combustibil solid, avînd un balast de peste 80%.

Singura treaptă de prelucrare a şistului conţinut în zăcămînt la care se mai poate acţiona, este extragerea acestuia.

Sînt în curs cercetări privind posibilitatea trecerii la exploatarea în subteran, eliminîndu-se, în acest fel în mare parte derocarea şi transportul cu mijloace auto a sterilului, care în condiţiile exploatării de suprafaţă se află într-o proporţie de 4/1 cu şistul.

Această posibilitate de ameliorare a consumului energetic, avînd în vedere ponderea de numai 7,9% din total, nu va schimba substanţial aspectul diagramei, păstrîndu-se în continuare concluzia că *necesarul de energie pentru valorificarea complexă a şisturilor bituminoase depăşeşte cu peste 50 energia produsă în termocentrală.*

În aceste condiţii, producerea aluminei şi cimentului din cenuşa de termocentrală este avantajoasă numai în cazul în care SEN dispune de un excedent de energie, aceasta apreciindu-se că va avea loc odată cu punerile în funcţiune ale centralelor nucleare, mai precis odată cu unitatea nr. 3. de 700 MW CNE Cernavodă, sau dacă preţul de procurare din import al minereului de fier echivalent concentratului 48% Fe şi al bauxitei necesare obţinerii aluminei este mai mare decît preţul păcurii necesare producţiei suplimentare de energie, solicitate de cele două tehnologii, pentru care SEN dispune deja de capacităţi instalate.

Bibliografie

[1] Zbarcea, R., Borşa, I. ş.a. *Utilizarea şisturilor bituminoase la producerea de energie electrică în marile termocentrale energetice. Problema privind amplasarea raţională a centralelor termoelectrice care utilizează şisturi bituminoase.* Raport la Prima Conferinţă Naţională a Energiei — Bucureşti octombrie 1974.

[2] Zbarcea, R. *Unele aspecte privind valorificarea şisturilor bituminoase din ţara noastră.* In: Construcţii şi montaje energetice, nr. 1/1973.

[3] Chiorean, G., Bogdan, I., Gheorghiu, N. Popovici, I., Moţoiu, C., Zbarcea, R. *Realizări şi studii privind folosirea lignitului inferior şi a şisturilor bituminoase din România pentru producerea energiei electrice.* Conferinţa Mondială a Energiei, Istambul, 1977.

[4] Studiu tehnico-economic cu soluţii constructive CTE pe şisturi bituminoase 3×330 MW Anina — Lucrarea ISPE nr. 8584, 1977.

[5] Epik, I.P. *Influenţa părţilor minerale a şisturilor asupra condiţiilor de exploatare a cazanelor energetice.* Traducere din limba rusă. Institutul Naţional de Informare şi Documentare, Bucureşti, 1972.

[6] Schröder, K. *Centrale electrice de mare putere.* Ed.Tehnică, Bucureşti, 1965 şi 1971.

[7] *Studiul de amplasament al haldei de cenuşe de la termocentrala Anina* — Lucrare ICITPML Craiova, nr. 20—1988, 1984.

[8] *Notă tehnică privind alegerea amplasamentului pentru depozitul de zgură şi cenuşă la termocentrala Anina.* Lucrare ISPE şi ICTPML Craiova, 1984.

[9] *Instalaţie de transport aeropropulsiv conteinerizat pentru transportul cenuşii de electrofiltre de la CTE Anina.* ICTCM nr. 372.1.1, 1987.

(Primit la 14 noiembrie 1987, acceptat la 12 mai 1988

Prezentarea generală a unei centrale nuclearoelectrice de tip PHWR-CANDU, cu referiri speciale la CANDU 700, CNE Cernavodă

Ing. ADRIAN RUSU, ing. ANCA RUSU*

Descriptori: centrale nuclearoelectrice, reactoare cu apă grea presurizată

CZ: 621.311.25 :621.039 (R)

Articolul reprezintă un material de informare, cu caracter general, asupra principalelor probleme specifice unei centrale nucleare, de tipul celei ce se construieşte la Cernavodă.

Sînt prezentate principiile generale de funcţionare ale acestui tip de centrală, problemele tehnice specifice, deosebite de cele ale unei centrale clasice.

Autorii se opresc asupra părţii nucleare a centralei, deci asupra sistemului nuclear de producere a aburului, pe care îl detaliază la nivel de sisteme componente, cu scheme de principiu şi parametri funcţionali.

The paper comprises general information pertaining to the main specific problems of nuclear power plants, similar to the one that is being constructed at Cernavodă.

The paper deals with the fundamental operating principles of this type of nuclear power plant, as well as with the specific technical problems that differ from the ones of a classical power plant.

The authors examine the nuclear side of the plant, namely the nuclear steam generating system, that is described in detail down to the component systems level, the schematic diagram and the operating parameters.

Introducere

Angajarea ţării noastre într-un vast program energetic nuclear, care prevede instalarea unei puteri de 12 000 MWe în centrale nucleare, prin asimilarea şi dezvoltarea unor reactoare de tip CANDU-PHWR, a pus în faţa specialiştilor din toate ramurile industriei naţionale o serie de probleme tehnice noi, nemaiîntîlnite pînă acum.

Trecerea ţării noastre în rîndul ţărilor producătoare de echipamente energetice nucleare va marca o nouă etapă, calitativ superioară, în dezvoltarea energeticii româneşti. Saltul tehnologic impus de energetica nucleară se va repercuta şi asupra celorlalte ramuri ale energeticii româneşti, cu precădere asupra laturilor ţinînd de asigurarea calităţii.

În proiectarea şi realizarea unei centrale nuclearoelectrice sînt implicate un mare număr de specialităţi şi de aici necesitatea unei informări generale, unitare, asupra principalelor caracteristici ale unei centrale nuclearoelectrice de tip CANDU.

Articolul de faţă îşi propune să constituie o bază de informare pentru o gamă largă de specialişti, implicaţi în realizarea primei centrale nuclearoelectrice din România şi confruntaţi cu înţelegerea unor fenomene şi procese noi, diferite de cele din centralele electrice clasice.

* Ing. Adrian Rusu — Institutul de Studii şi Proiectări Energetice, Bucureşti, ing. Anca Rusu — Cernavodă.

1. Principalele caracteristici tehnice ale unei CNE tip CANDU—PHWR

Iniţialele PHWR, care definesc filiera de reactoare de care aparţine şi reactorul CANDU, înseamnă „pressurized heavy water reactor" ceea ce ne spune că este vorba despre un reactor răcit cu apă grea sub presiune.

Combustibilul este uraniu natural cu conţinut de 0,7% izotop fisionabil U_{92}^{235}, restul fiind U_{92}^{238} nefisionabil. Elementele combustibile constau din teci de zircalloy (un aliaj pe bază de zirconiu), umplute cu pastile de UO_2 (pulbere sinterizată). 37 de astfel de elemente combustibile, solidarizate printr-un sistem de fixare, formează un fascicul combustibil.

Utilizarea uraniului natural, neîmbogăţit în izotopul fisionabil U_{92}^{235}, duce la un ciclu de combustibil simplu şi ieftin, cu o singură trecere a combustibilului prin reactor, fără reprocesarea elementelor combustibile arse (deocamdată!). Reactoarele CANDU realizează o ardere economică a combustibilului, atingîndu-se grade de ardere de 6500... 7500 MWzi/t uraniu, în condiţiile unui exces redus de reactivitate.

Alegerea uraniului natural drept combustibil pentru reactoarele asimilate în ţară este şi o opţiune politică: asigurarea combustibilului din resurse interne, prelucrarea lui exclusiv în ţară, vizînd asigurarea unei independenţe energetice totale şi efective.

Operaţia de îmbogăţire a uraniului în izotopul fisionabil U_{92}^{235} reprezintă un proces tehnologic complex, energointensiv, aflat în prezent numai la dispoziţia statelor cu

potențial economic mare. Opțiunea pentru o filieră de reactoare funcționînd cu uraniu îmbogățit ar fi însemnat acceptarea unei dependențe de furnizorul de combustibil. Pe măsură ce țara noastră va deveni capabilă să realizeze în mod economic, la scară industrială, acest proces de îmbogățire izotopică, există posibilități de a converti actualele reactoare CANDU în așa fel încît acestea să funcționeze cu uraniu ușor îmbogățit.

Apa grea (D_2O) este folosită în reactoarele CANDU ca agent de răcire, moderator și reflector. Ca agent termic, apa grea (D_2O) are proprietăți asemănătoare apei ușoare (H_2O), dar ca moderator ea îi este superioară. În urma unei reacții de fisiune, provocată de absorbția unui neutron termic (cu energie cinetică $E \simeq 0{,}25$ eV) de către un atom de U_{92}^{235}, vor rezulta două fragmente de fisiune și 2 — 3 neutroni rapizi, cu energii cinetice mari, în medie de circa 2 Mev. Pentru a-și scădea energia cinetică pînă la circa 0,25 eV, energie la care probabilitatea de apariție a reacției de fisiune a U_{92}^{235} este maximă, neutronii rapizi vor trebui să cedeze în mod repetat energie, în urma ciocnirilor cu moleculele de moderator D_2O.

Pentru ca la o ciocnire, presupusă elastică, neutronii să piardă o cantitate cît mai mare din energia lor inițială, moleculele de moderator trebuie să aibă mase cît mai mici, comparabile cu masa neutronului (1 u). De aceea, moderatorii încercați în reactoare au fost: apă ușoară (filierele PWR, BWR), apă grea (PHWR), carbonul (grafit GCR, AGR) și beriliul.

Deși apa simplă H_2O are molecula mai ușoară, deci moderează mai bine, și un preț de cost inferior apei grele (172$/kg$D_2O$), ea este totuși un mare absorbant de neutroni. În cazul unor reactoare cu uraniu neîmbogățit, din zona activă a reactorului trebuie eliminate materialele puternic absorbante de neutroni, pentru a nu dezechilibra bilanțul neutronic al reactorului. De aceea se optează, în cazul reactoarelor CANDU, pentru moderator D_2O în loc de H_2O, pentru aliaje pe bază de zirconiu în loc de oțeluri etc.

Utilizarea D_2O ca moderator dă cel mai ridicat coeficient de reproducere a combustibilului nuclear cu neutroni termici, acest coeficient putînd să atingă valorile de 70 — 90%. Aceasta înseamnă că pentru fiecare 100 nuclee fisionabile de U_{92}^{235}, aflate inițial în combustibilul nuclear, în urma unor reacții neutronice de captură în U_{92}^{238}, vor apărea circa 70 — 90 nuclee de Pu_{94}^{239}, de asemenea fisionabile.

Deci, dacă la început puterea termică era produsă numai de fisiunea U_{92}^{235}, pe măsură ce combustibilul se iradiază în flux de neutroni, o parte din puterea termică se va produce și prin fisiunile în Pu_{94}^{239}. Această multiplicare a materialului fisionabil, în proporție de 70 — 90%, pe măsura arderii lui, permite pentru reactoarele CANDU o mare libertate de alegere a ciclului combustibil (Pu, U natural, U ușor îmbogățit, Th).

O altă trăsătură definitorie a reactoarelor CANDU, care le deosebește net de reactoarele moderate și răcite cu apă ușoară, o constituie posibilitatea de reîncărcare a combustibilului sub sarcină, în timpul funcționării reactorului, ceea ce duce la un coeficient foarte bun de disponibilitate a instalației (circa 85 — 90%).

Apa grea moderatoare și apa grea agent de răcire sînt separate fizic ca sisteme. Dacă D_2O din sistemul primar de transport al căldurii lucrează la presiune și temperatură ridicată (310°C și 115 — 130 bar), apa grea moderatoare lucrează la rece (75 — 85°C) și la joasă presiune (1 — 2 bar), ceea ce ușurează foarte mult funcționarea mecanismelor de reglare a reactivității reactorului.

Reactorul CANDU permite și alegerea unor alți agenți de răcire, în afara D_2O, de exemplu H_2O în fierbere sau lichide organice. Un reactor de cercetare, derivat din CANDU-PHWR și răcit cu lichide organice, a funcționat mai mult de 15 ani în Canada, producînd abur de înaltă presiune pentru scopuri industriale.

Prin faptul că nu are vas de presiune, ci este un reactor cu canale, reactorul de tip CANDU poate fi realizat la niveluri de putere foarte diferite (deocamdată între 300 și 1000 MWe), prin fixarea unui anumit număr de canale. Canalul de combustibil reprezintă deci elementul modular, care, prin repetare, poate alcătui zone active într-o gamă foarte largă de puteri termice. Această structură modulară, pe lîngă avantajul că permite reîncărcarea sub sarcină a zonei active, are și dezavantajul că impune un număr mare de etanșări, deci o tehnologie complicată de realizare a reactorului.

1. Reactorul și sistemul nuclear de producere a aburului

Reactorul CANDU-PHWR are forma unui cilindru orizontal de 6—8m diametru și 6—8m lungime, confecționat din tablă de oțel inoxidabil subțire (20—30 mm), pentru că lucrează la presiuni interne scăzute ($p<2$ bar), iar temperatura moderatorului conținut în vas nu depășește 85°C.

În interiorul vasului calandria sînt montate 300 — 600 tuburi calandria, în funcție de puterea termică a zonei active. La centrala CANDU —700 care se construiește la Cernavodă, numărul de tuburi calandria este de 380, diametrul acestora fiind 129/132 mm. Tuburile calandria vin în contact direct cu D_2O moderator, și conțin în interiorul lor cîte un tub de presiune, împreună cu care formează un ansamblu de circa 10 m lungime, numit canal tehnologic.

Tubul de presiune se realizează din aliaj de zirconiu-niobiu, are lungimea de 6,3 m, diametrul interior de 105 mm și grosimea peretelui de 4,16 mm. În interiorul tuburilor de forță (de presiune) se așază fasciculele de elemente combustibile, care sînt răcite de debitul de D_2O. Atît tuburile de presiune, cît și tuburile calandria se execută din aliaje de zirconiu, din considerente de îmbunătățire a bilanțului neutronic, iar extensiile de tub și fittingurile terminale din oțel inoxidabil (fig. 1).

Apa grea ca agent de răcire lucrează la presiune înaltă, 115 — 130 bar, și se încălzește străbătînd tubul de presiune și spălînd fasciculele de elemente combustibile. Temperatura ei crește odată cu străbaterea axială a reactorului, de la 267 la 310°C, adică la ceva mai puțin decît temperatura de saturație corespunzătoare presiunii apei grele din circuitul primar. Fierberea D_2O în canalele tehnologice este nedorită și evitată, din cauza înrăutățirii masive a transferului de căldură odată cu apariția vaporizării.

Tubul de presiune este dimensionat pentru a prelua presiunea mare a agentului de răcire din circuitul primar (115 — 140 bar), în timp ce tubul calandria se dimensionează pentru a rezista la presiunea redusă a moderatorului (1 — 2 bar).

Între cele două tuburi concentrice se află un gaz (CO_2) cu rol de izolant termic, pentru a reduce puterea termică cedată de circuitul primar moderatorului. Moderatorul trebuie menținut la temperatură scăzută ($t < 85$°C) și pe cît posibil constantă, pentru că o încălzire excesivă a acestuia ar strica proprietățile moderatoare ale apei grele.

Corpul cilindric al vasului calandria are la extremități un sistem de protecții de capăt, format din două rînduri de plăci, cu spațiul intermediar umplut cu bile de oțel. Acest strat de bile de oțel are rolul de protecție biologică pentru fețele reactorului. Plăcile tubulare de la extremitățile vasului calandria au rolul de:

— elemente suport pentru tuburile canalelor tehnologice;

— protecție biologică terminală, împotriva radiațiilor și a fluxului de neutroni;

— structură de realizare a racordurilor pentru agentul termic.

Dacă ecranarea axială a calandriei este realizată de protecțiile de capăt umplute cu bile de oțel, pe direcție radială rolul de protecție biologică îl joacă apa ușoară (H_2O), vasul calandria fiind amplasat într-un cheson de beton plin cu H_2O.

În vasul reactorului sînt prevăzute țevi verticale, introduse în masa de moderator, printre canalele tehnologice, în care se introduc barele de reglaj, compensare și oprire la avarie, confecționate din materiale puternic absorbante de neutroni (oțeluri, oțeluri cu bor, oțeluri placate cu cadmiu etc.).

Printre tuburile calandria și paralel cu acestea, se mai găsesc canale și țevi orizontale ce adăpostesc detectoarele orizontale de flux și țevi de injecție a otrăvurilor lichide. Deci, pe lîngă introducerea barelor absorbante de neutroni în vasul reactorului, o altă metodă de reglaj al acestuia o constituie injecția unor otrăvuri lichide (substanțe puternic absorbante de neutroni, solubile în D_2O), în masa moderatorului. Injecția de otrăvuri lichide în moderator se face sub presiunea unei perne de heliu, iar îndepărtarea lor din modelator se face prin recircularea D_2O prin filtre ionice speciale, din alcătuirea circuitului de purificare a moderatorului. Alcătuirea de ansamblu a unui reactor CANDU este prezentată în figura 2.

Pentru prevenirea apariției unor suprapresiuni în vasul calandria, acesta este prevăzut cu patru conducte de descărcare, obturate în mod normal cu discuri de rupere la suprapresiune. În cazul unui accident urmat de fisurarea unor tuburi de presiune, presiunea ridicată din circuitul primar se va descărca în incinta de joasă presiune a vasului calandria, iar de aici, odată cu ruperea discurilor de suprapresiune, în anvelopă.

Unele dintre canalele orizontale conțin camerele de ionizare și detectoarele autoalimentate de flux, care măsoară fluxul neutronic din zona activă. Puterea produsă de reactor fiind pro-

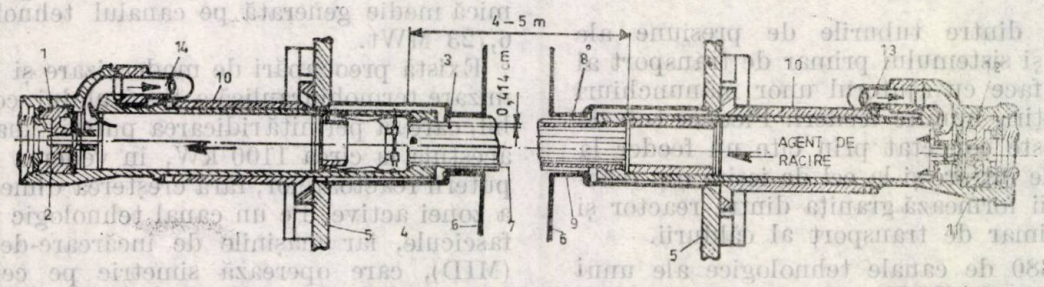


Fig. 1. Schema unui canal tehnologic al reactorului nuclear CANDU-700: 1,12 — fitingul terminal al canalului; 2,11 — DOP; 3 — zona elementelor de combustibil; 4 — protecția biologică de capăt umplută cu bile de oțel și apă; 5, 6 — plăcile tubulare ale vasului calandria; 7 — spațiu inelar umplut cu gaz de izolare termică (CO_2); 8 — tub de presiune din zircalloy; 2, 9 — tub calandria din zircalloy; 2, 10 — extensiile tuburilor de presiune și ale vasului calandria; 13 — intrare agent termic; 14 — ieșire agent termic.

porțională cu fluxul neutronic, măsurarea fluxului reprezintă una din căile de determinare promptă a puterii reactorului.

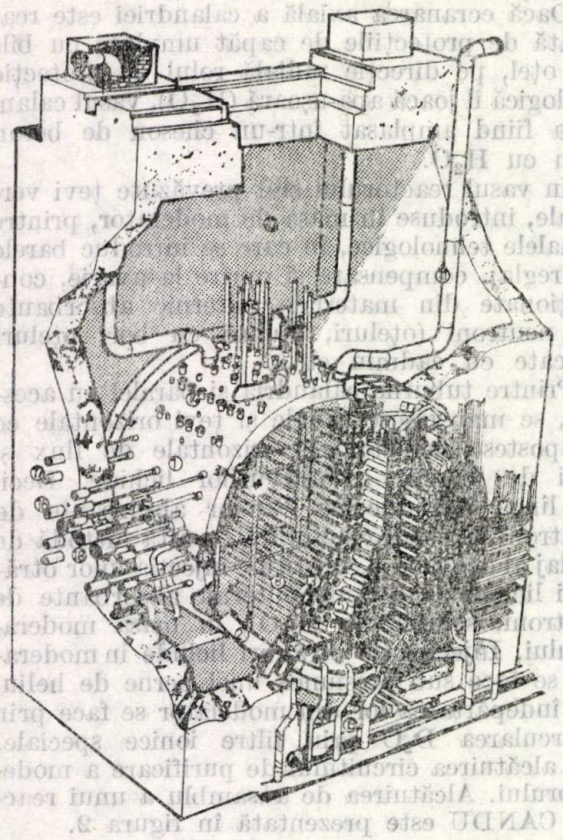


Fig. 2. Vedere de ansamblu și secțiune printr-un reactor CANDU-PHWR: 1 — vasul calandria; 2 — montarea vasului calandria; 3 — placa tubulară a vasului calandria; 4 — placa tubulară dinspre mașina de încărcare-descărcare; 5 — pasul tuburilor calandria; 6 — capete terminale; 7 — fideeri de alimentare cu D_2O; 8 — tubul calandria; 9 — protecție biologică de capăt cu bile de oțel și apă; 10 — grindă inelară de susținere a protecției de capăt; 11 — conducte de suprapresiune; 12 — discul de rupere la suprapresiune; 13 — intrarea moderatorului (patru ștuțuri de fiecare parte); 14 — ștuțurile barelor de reglare; 15 — prelungirea mecanismelor de acționare a barelor de reglare; 16 — detectoare orizontale de flux (9 buc.); 17 — ștuțurile de injecție a otrăvurilor (9 buc.); 18 — cămășile de protecție ale camerelor de ionizare (trei pe fiecare parte); 19 — conducte colectoare ale sistemului de răcire a protecțiilor de capăt; 20 — puțul reactorului umplut cu apă obișnuită pentru protecția biologică.

Legătura dintre tuburile de presiune ale reactorului și sistemului primar de transport al căldurii se face cu ajutorul unor mănunchiuri de țevi subțiri, numite feederi. Fiecare tub de presiune este conectat prin cîte un feeder la colectorul de intrare și la cel de ieșire din reactor. Feederii formează granița dintre reactor și sistemul primar de transport al căldurii.

În cele 380 de canale tehnologice ale unui reactor de tip CANDU — 700, se găsesc circa 4560 de fascicule combustibile, cîte 12 pe canal, fiecare fascicul cuprinzînd cîte 37 de elemente combustibile (fig. 3).

Fiecare canal tehnologic este racordat la colectorul de intrare și de ieșire a D_2O din reactor, prin cîte un feeder. Deci, reactorul CANDU — 700 va avea 760 de feederi, corespunzător celor 380 de canale tehnologice.

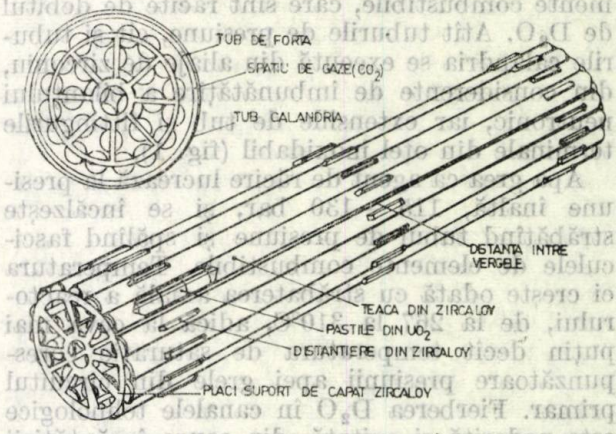


Fig. 3. Fascicul cu 37 de elemente combustibile, de tipul celor folosite la CANDU-700, tip Cernavodă.

Tuburile calandria sînt dispuse după o rețea pătratică cu pasul $p = 285{,}75$ mm, fiind fixate la capete în două plăci tubulare de 76 m diametru. Tubul calandria are o lungime de aproximativ 8 m, iar împreună cu fittingurile terminale atinge 10 m. Zona activă propriu-zisă a reactorului are tot o formă cilindrică, cu diametrul de 6,8 m și cu lungimea de 5,95 m.

În vederea echilibrării cîmpurilor de temperatură și a regimurilor hidraulice, circulația prin reactor a D_2O de răcire se face în sensuri opuse prin canalele învecinate.

Fiecare fascicul de elemente combustibile conține 37 de elemente. Pastilele de UO_2 sinterizat intră în tuburi subțiri de zircalloy, cu lungimea de 500 mm și diametrul de 13 mm. Între pastilele de UO_2 sinterizat și teaca elementului combustibil se depun straturi de grafit, cu rol în ușurarea alunecării pastilelor prin tub, sau se introduce gaz He, pentru asigurarea unei mai bune conductivități termice. 37 de astfel de elemente combustibile, prinse într-un sistem de trei inele concentrice și două plăci suport de capăt, formează un fascicul. Un astfel de fascicul realizează o putere termică de 875 — 900 kW, ceea ce duce la o putere termică medie generată pe canalul tehnologic de 6,723 MWt.

Există preocupări de modernizare și de optimizare termohidraulică a fasciculului combustibil, care să permită ridicarea puterii maxime a acestuia la circa 1100 kW, în vederea ridicării puterii reactoarelor, fără creșterea dimensională a zonei active. Pe un canal tehnologic intră 12 fascicule, iar mașinile de încărcare-descărcare (MID), care operează simetric pe cele două fețe ale vasului calandria, schimbă cîte opt astfel de fascicule pe zi.

Reactorul conținînd 380 de canale tehnologice și MID operînd cîte un canal pe zi, rezultă

că elementele combustibile stau în reactor cam un an.

S-a amintit că mașinile de încărcare-descărcare, în număr de două, operează simetric pe cele două fețe ale reactorului (ale vasului calandria). Una dintre MID preia combustibilul proaspăt din depozitul de alimentare și se deplasează, poziționîndu-se în dreptul canalului ce trebuie realimentat. MID are posibilitatea de a se deplasa în coordonate XOY pe fața calandriei, putînd deservi oricare din canalele tehnologice. MID, care este de fapt un robot specializat, se cuplează la tubul de presiune al canalului de alimentat, egalizîndu-și presiunea din magazia de fascicule combustibile cu presiunea din circuitul primar.

Pe fața opusă, cealaltă MID a executat aceleași operații. În timp ce o MID împinge un fascicul proaspăt pe canal, la partea cealaltă a canalului un fascicul este împins în afara reactorului, fiind preluat de cea de-a doua MID. Fiecare MID are o magazie de tip revolver, cu opt locașuri, care-i permite să predea și respectiv să preia opt fascicule combustibile. După ce operarea canalului s-a terminat, cele două MID se decuplează de la tubul de presiune, refăcîndu-i acestuia etanșeitatea, prin remontarea unor dopuri de închidere. MID care a preluat elementele combustibile iradiate le va trimite spre bazinul de calmare, calculat pentru a depozita combustibilul ars pentru o perioadă de 10 ani.

Combustibilul ars, iradiat în reactor, va avea activități mari, de aceea este necesară depozitarea lui controlată, pentru o perioadă de ordinul anilor, în bazinul de calmare. Acest bazin are rolul de a împiedica disiparea radioactivității în mediul înconjurător, de a realiza o protecție biologică eficientă (ecran de H_2O) și de a evacua căldura care continuă să se producă în fasciculul combustibil, chiar după extragerea lui din reactor.

Bazinul de calmare este proiectat în așa fel încît în orice moment să poată prelua întregul inventar de combustibil din zona activă, pentru cazul în care acesta ar trebui să fie scos pentru a face posibilă o intervenție urgentă de reparații. Bazinul de calmare constă din mai multe compartimente, după cum urmează: un compartiment de recepție, unul pentru elemente combustibile bune și altul pentru elemente cu defecte de teacă, deci cu scăpări de produse radioactive.

Apa bazinului de calmare este trecută în mod continuu prin filtre ionice, care să rețină eventualele produse de fisiune scăpate, sau alte produse activate de acestea.

Un alt circuit de răcire a apei din bazinul de calmare va prelua căldura reziduală produsă de elementele combustibile arse, după extragerea din reactor. Aranjamentul fasciculelor în rastele va fi astfel calculat încît să se evite apariția accidentală a unei stări de criticitate (în cazul reactoarelor PHWR nu se pune problema, deoarece uraniul natural, neîmbogățit, nu poate atinge starea de criticitate în apa ușoară H_2O din bazinul de calmare).

O prezentare de principiu a sistemului de manipulare a combustibilului (SMC) se poate vedea în figura 4.

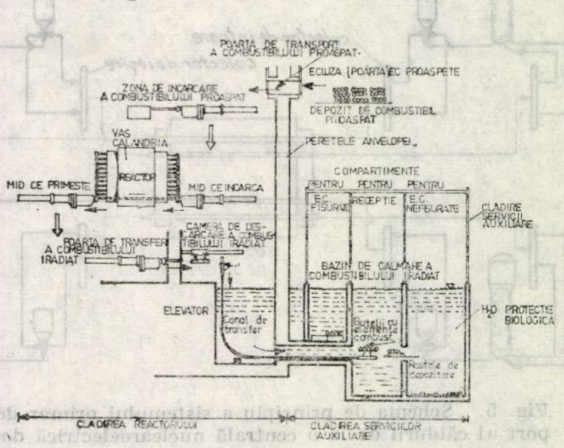


Fig. 4. Schema de principiu a sistemului de manipulare a combustibilului nuclear (SMC).

Datorită complexității operațiilor de încărcare-descărcare a combustibilului, SMC este prevăzut cu un sistem de comandă pe bază de calculatoare de proces, funcționînd după un set de programe specializate, care permit, după caz, intervenția manuală a operatorului.

Sistem primar de transport al căldurii (SPTC)

Acest sistem are rolul de a evacua căldura dezvoltată de reactorul nuclear și de a o transfera, prin intermediul generatoarelor de abur, către circuitul secundar. Constă din următoarele componente principale:

— 380 canale tehnologice;
— 760 feederi pentru D_2O (cîte doi pentru fiecare canal tehnologic);
— patru perechi de colectoare de intrare și de ieșire din reactor;
— conductele circuitului primar;
— patru electropompe principale de circulație a agentului primar;
— un presurizor;
— patru generatoare de abur.

Schema de principiu a sistemului primar de transport al căldurii este dată în figura 5.

Sistemul preia cei 2189 MWt produși de fisiunea combustibilului nuclear și-i transportă spre cele patru generatoare de abur, care produc 3700 t/h abur saturat, la presiunea de 46 bar. Acest debit de abur pune în mișcare turbogeneratorul de 706 MWe.

Circulația D_2O de răcire prin canalele tehnologice se face în contrasens la tuburile alăturate, pentru uniformizarea cîmpului de temperatură din zona activă. Debitul prin feeder

este corelat cu puterea termică a canalului central, cel mai solicitat termic, avînd debitul de 24 kg/s la o viteză de circulație a D_2O de 12,2 m/s.

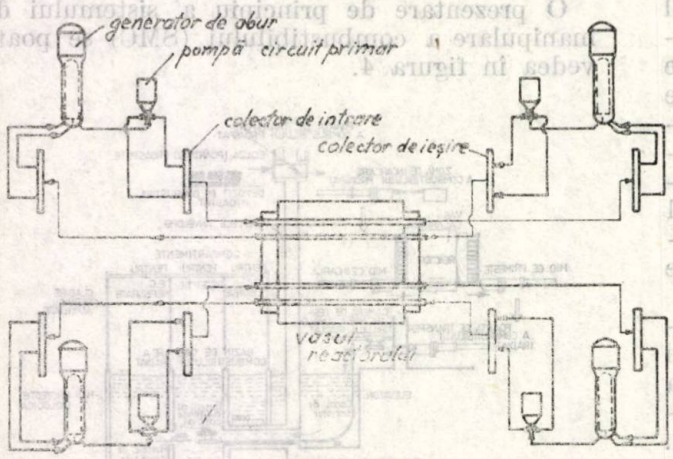


Fig. 5. Schema de principiu a sistemului primar de transport al căldurii de la o centrală nuclearoelectrică dotată cu reactoare PHWR-CANDU.

Circuitul primar este format din două bucle de circulație (2 × 50%), care lucrează pe principiul a două bucle în formă de 8 cele două bucle fiind complet separate fizic, din considerente de securitate nucleară. Fiecare din cele două bucle va avea conectați cîte 190 feederi pe ea, prin ea circulînd 50% din debitul total de agent primar. Fiecare buclă va conține cîte două generatoare de abur.

Această dispunere în formă de 8, are avantajul că în eventualitatea căderii unei pompe principale din circuitul de transport al căldurii, se menține circulația agentului de răcire în proporție de 70% din valoarea nominală, permițînd funcționarea reactorului la putere redusă. Pompele principale de circulație a agentului primar sînt de construcție specială, cu o singură aspirație și cu două refulări.

Generatoarele de abur, pompele primare și colectoarele sînt amplasate deasupra reactorului, ceea ce permite golirea SPTC pînă la nivelul colectoarelor, în vederea creării posibilității de a executa lucrări de întreținere și reparații la generatoarele de abur și la pompele primare.

Răcirea zonei active este asigurată și în caz de indisponibilitate a pompelor primare de circulație, prin următoarele fenomene:

— inițial prin *inerția mecanică* a pompelor, care acumulează energie cinetică de rotație, fiind prevăzute cu volanți;

— ulterior, după oprirea pompelor, prin *circulație naturală* (*termosifon*), datorită amplasării generatoarelor de abur deasupra reactorului;

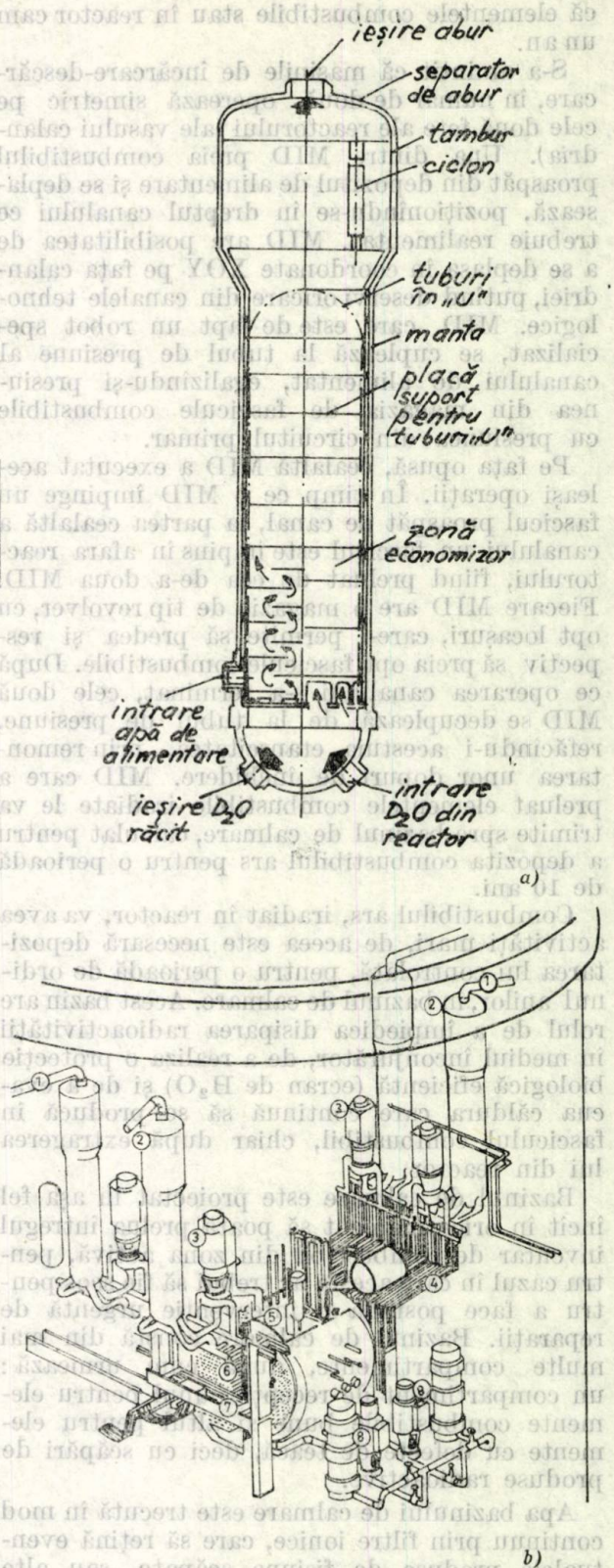


Fig. 6 *a*. Schema simplificată a unui generator de abur. Fig. 6 *b*. Amplasarea în spațiu a SPTC și SM la reactorul CANDU-PHWR: 1 — conducta de abur; 2 — generator de abur; 3 — pompele principale din circuitul primar; 4 — feederi; 5 — ansamblul vasului calandria; 6 — canalul tehnologic de combustibil; 7 — podul mașinii de schimbare a combustibilului; 8 — sistemul de vehiculare a moderatorului.

— în final, cu ajutorul unui sistem de răcire la oprire, specializat.

De presiunea cu care funcționează SPTC depinde optimizarea ciclului termic al centralei CANDU. Presiunea înaltă din SPTC permite funcționarea la înaltă presiune și a circuitului secundar al centralei, ceea ce duce la creșterea randamentului unității. Presiunea la colectoarele de ieșire ale reactorului este de aproximativ 10 MPa (100 bar).

Generatoarele de abur sînt schimbătoare de căldură specializate, străbătute de D_2O sub presiune în interiorul unui fascicul tubular în formă de U și de H_2O în mantaua cilindrică.

Apa ușoară intră pe la partea inferioară a generatorului de abur, încălzindu-se treptat în porțiunea de economizor a acestuia, pînă la atingerea temperaturii de saturație. Odată atinsă această temperatură, apa ușoară începe să se evapore, ridicîndu-se la partea superioară a generatorului de abur. Aburul saturat produs în acest fel trece printr-un separator intern de umiditate al generatorului de abur și, de aici, prin conductele de abur viu, la CMP al turbogeneratorului. La ieșirea din separatorul de umiditate, aburul nu are voie să aibă o umiditate mai mare de 0,25%.

Apa grea intră în generatoarele de abur prin fasciculul tubular în formă de U, în contracurent cu apa de alimentare. Cedînd căldura apei H_2O din circuitul secundar, D_2O se răcește progresiv, de la 309 la 266°C.

În figura 7 se dă diagrama schimbului de căldură dintr-un generator de abur tipic.

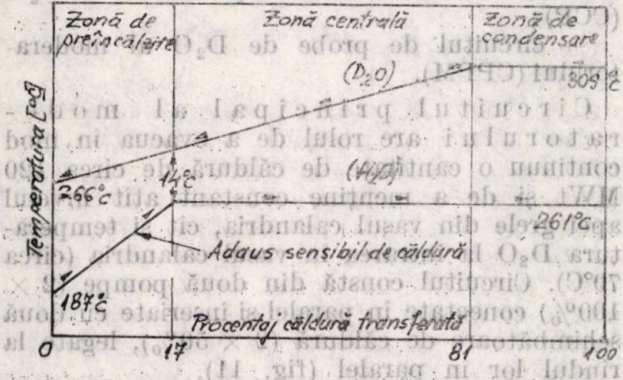


Fig. 7. Diagrama schimbului de căldură dintr-un generator de abur tipic.

Se vede cum, în partea de economizor a generatorului de abur, H_2O se încălzește de la temperatura de alimentare de 187°C, la temperatura de saturație de 261°C, corespunzătoare presiunii de 46 bar. Generatorul de abur are trei părți principale: economizorul, vaporizatorul și separatorul de abur.

Sistemul de reglare a presiunii și de control al volumului de apă grea din circuitul primar

Acest sistem are rolul de a menține presiunea constantă în fiecare buclă a circuitului primar de răcire, de a prelua variațiile de presiune datorate regimurilor tranzitorii, de a asigura degazarea agentului de răcire primar și de a compensa scurgerile accidentale sau planificate de D_2O. Principalele echipamente care intră în componența acestui sistem sînt:

— presurizorul;
— degazor — condensatorul;
— rezervorul de D_2O.

Presurizorul este conectat pe bucla caldă a circuitului primar, deci pe ieșirea din reactor. Reglarea presiunii se bazează pe vaporizarea D_2O în presurizor, cu ajutorul unei rezistențe electrice. Creîndu-se în acest fel o pernă de vapori de D_2O, aceasta împinge D_2O lichid în circuitul primar, compensînd o eventuală scădere a presiunii. Pentru compensarea unei creșteri a presiunii, vaporii din perna de D_2O sînt condensați, micșorîndu-se în acest fel apăsarea ei asupra D_2O din circuitul primar (fig. 8).

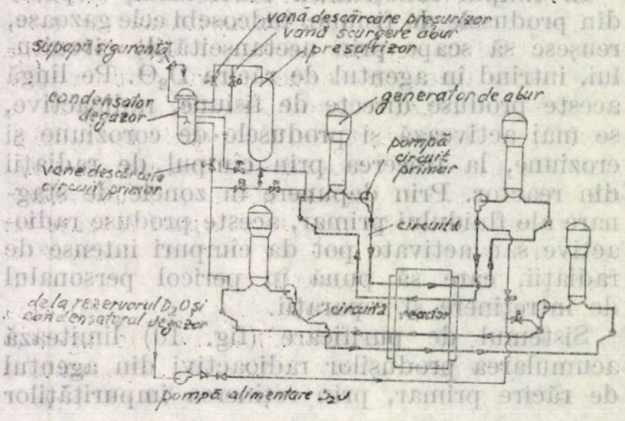


Fig. 8. Schema de principiu a sistemului de reglare a presiunii circuitului primar.

Sistemul de răcire la oprire

Are rolul de a evacua căldura din SPTC la oprirea reactorului, fiind prevăzute două sisteme de răcire la oprire independente, cîte unul la fiecare capăt al reactorului.

D_2O este preluată de la colectorul de ieșire de către o pompă și este trecută printr-un schimbător de căldură și apoi reintrodusă în colectorul de intrare.

În circuitul primar, din considerente de asigurare a etanșeității nu s-a prevăzut nici o vană, de aceea împărțirea debitelor de agent primar între generatoarele de abur și sistemul de răcire la oprire se face în funcție de rezistența hidraulică. Sistemul de răcire la oprire (fig. 9) mai poate să funcționeze și folosind pompele principale ale SPTC, caz în care pompele sistemului de răcire la oprire sînt șuntate. Sistemul este eficient și în cazul în care SPTC este depresurizat și nivelul de D_2O este sub nivelul colectoarelor, acest lucru

ușurînd executarea de lucrări de întreținere și reparații la generatoarele de abur și la pompele primare.

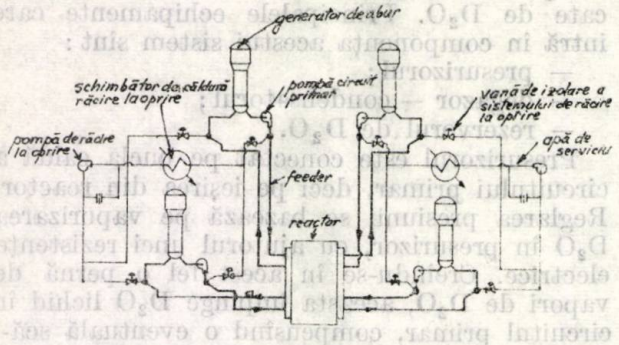


Fig. 9. Schema sistemului de răcire la oprire.

Sistemul de purificare a circuitului primar

În timpul funcționării reactorului, o parte din produsele de fisiune, îndeosebi cele gazoase, reușesc să scape prin neetanșeitățile circuitului, intrînd în agentul de răcire D_2O. Pe lîngă aceste produse directe de fisiune, radioactive, se mai activează și produsele de coroziune și eroziune, la trecerea prin cîmpul de radiații din reactor. Prin depunere în zonele de stagnare ale fluidului primar, aceste produse radioactive sau activate pot da cîmpuri intense de radiații, care să pună în pericol personalul de întreținere și reparații.

Sistemul de purificare (fig. 10) limitează acumularea produșilor radioactivi din agentul de răcire primar, prin reținerea impurităților

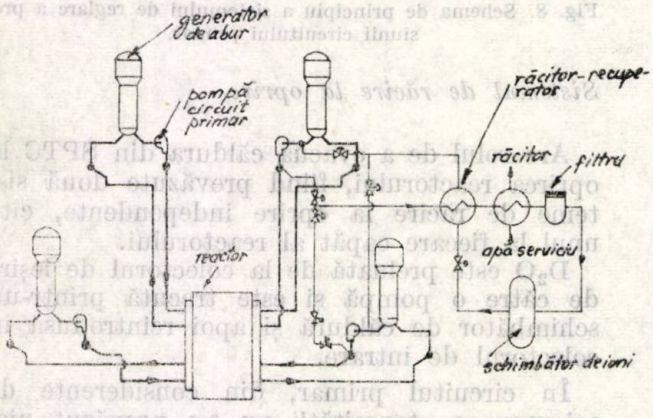


Fig. 10. Sistemul de purificare a circuitului primar.

solubile și insolubile, și menținerea pD-ului într-o plajă de valori care să nu activeze coroziunea (pD-ul este echivalentul pH-ului pentru D_2O).

Circuitul de purificare se compune dintr-un răcitor-recuperator, filtre mecanice și schimbătoare de ioni. Debitul de D_2O pentru purificare se extrage din refularea pompei principale și este returnat înaintea pompei principale, utilizînd pentru străbaterea filtrelor diferența de presiune dintre punctul de prevelare și cel de reintroducere.

Alte circuite din sistemul primar, care concură la realizarea funcțiilor acestuia, sînt :

— circuitul de colectare a scurgerilor de D_2O ;
— circuitul de prevelare a probelor de D_2O ;
— circuitul de stocare și transfer a D_2O ;
— circuitul de umplere cu azot a SPTC, pentru perioadele de golire ;
— circuitul de adaos continuu de D_2, în scopul reducerii vitezei de coroziune a componentelor SPTC ;
— circuitul de răcire a protecțiilor biologice ;
— circuitul de CO_2, care alimentează cu CO_2 gazos la 117°C spațiul inelar dintre tuburile calandria și de presiune ale fiecărui canal.

Sistemul moderatorului

Apa grea (D_2O) din vasul calandria folosită ca moderator este circulată prin sistemul moderatorului în vederea răcirii, purificării și controlului de substanțe absorbante de neutroni, care ajută la reglarea nivelului de reactivitate.

Capacitatea de răcire este asigurată prin păstrarea temperaturii apei grele la o valoare constantă, în plaja 70 — 85°C. Sistemul moderatorului are în componența sa următoarele cinci circuite principale :

— circuitul principal al moderatorului (CPM) ;
— circuitul de purificare (CP) ;
— circuitul de acoperire cu gaz (CAG) ;
— circuitul de colectare a pierderilor de D_2O (CCP) ;
— circuitul de probe de D_2O al moderatorului (CPPM).

Circuitul principal al moderatorului are rolul de a evacua în mod continuu o cantitate de căldură de circa 120 MWt și de a menține constant atît nivelul apei grele din vasul calandria, cît și temperatura D_2O la intrarea în vasul calandria (circa 70°C). Circuitul constă din două pompe (2 × 100%) conectate în paralel și înseriate cu două schimbătoare de căldură (2 × 50%), legate la rîndul lor în paralel (fig. 11).

Schema este elastică, permițînd funcționarea oricărei pompe cu ambele schimbătoare. La avarierea unui schimbător, se asigură 70% din capacitatea de răcire a sistemului, supraîncărcînd schimbătorul rămas prin trecerea întregului debit de apă grea prin el.

Circuitul de purificare a moderatorului menține puritatea D_2O prin preluarea gazelor rezultate în urma radiolizei apei grele (D_2 și O_2) și prin extragerea impurităților din D_2O. De asemenea, reduce concentrația de otrăvuri solubile (bor, gardoliniu) în concordanță cu necesitățile reglajului de reactivitate (extrage otrava solubilă introdusă

de sistemul de oprire la avarie nr. 2, cu injecție de otrăvuri lichide). În acest scop, circuitul de purificare conține un sistem de filtre ionice, pompe și rezervoare, lucrînd la temperatura de circa 43°C.

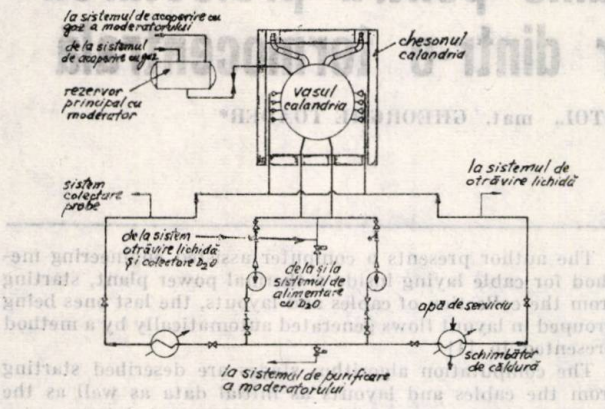


Fig. 11. Schema sistemului moderatorului la reactorul CANDU-PHWR.

Circuitul de acoperire cu gaz folosește heliu pentru acoperirea suprafețelor libere de apă grea, în vederea colectării D_2 rezultat din radioliză și care se acumulează în vasul calandria. Rolul circuitului este de a menține concentrația de D_2 în He sub 4%, în caz contrar apărînd pericolul de explozie.

Circuitul de colectare a pierderilor de D_2O se ocupă de strîngerea scurgerilor de D_2O, în fază lichidă, în special de la etanșările pompelor de moderator.

Circuitul de prelevare a probelor de D_2O al moderatorului preia și trimite la analiză probe din punctele principale ale circuitului moderatorului.

(Primit la 6 ianuarie 1988 acceptat la 12 mai 1988)

NOUTĂȚI

Din energetica mondială

PROBLEME ALE PREGĂTIRII PERSONALULUI DE EXPLOATARE LA CNE DIN STRĂINĂTATE

Stimulator de antrenament multifuncțional pentru centrale nucleroelectrice

La CNE Torness (Marea Britanie) s-a montat un simulator care realizează în timp real modelul complet al unui bloc energetic nuclear de 624 MW cu răcire cu gaz a reactorului nuclear. Simulatorul este sub forma unui sistem cifric cu distribuție, avînd 52 minicalculatoare electronice cu instalații periferice (display-uri color, panouri de comandă etc.). Funcțiile simulatorului privesc școlarizarea și antrenamentul personalului, cît și realizarea calculelor inginerești de rutină în regimul de obținere a informațiilor curente de la obiectul real. În scopul rezolvării acestei funcții s-a prevăzut o instalație de culegere și de prelucrare a informațiilor analoage și cifrice.

Modelul blocului energetic nuclear este dezvoltat în comparație cu modelul realizat anterior la CNE Hunterston, prin descrierea mai amplă a tuturor elementelor și luarea în considerare a regulatoarelor locale. Astfel, fiecare din cele 332 canale de combustibil este reprezentat sub forma unui model cu două mărimi.

În timp ce simulatorul de la Hunterston avea înglobate ecuații într-un număr de 5129 diferențiale, 8842 algebrice și 1000 logice, simulatorul analizat are respectiv 10151, 14096 și peste 20000 ecuații.

(După „Referativnîi jurnal" 22 Energhetika, vol. general nr. 11/1987 poz. 11 U/133)

Centrul de pregătire a personalului la CNE Susquethanna (S.U.A.)

În publicația „*Nuclear News*" (SUA) 1987, 30, nr. 7, este publicat un articol care descrie centrul de pregătire menționat, și anume organizarea și activitatea centrului, începută din 1972, cînd firma avea încă în exploatare blocuri pe combustibili clasici. Personalul centrului este de 45 oameni (instructori și inspectori), dar pentru predarea diferitelor cursuri sînt invitați profesori și conferențiari de la institute de învățămînt superior.

Centrul este dotat cu un simulator care a costat 6 mii dolari și ocupă o încăpere cu o suprafață de 3600 m², dispune de o bibliotecă, 11 auditorii, patru laboratoare. Se pregătesc aici operatori, șefi de tură, ingineri și tehnicieni pentru serviciile chimice, de radiație, mecanice și altele, precum și funcționari administrativi. Durata pregătirii este de la 3 la 5 ani. Cursurile teoretice sînt simultane cu activitatea practică la CNE (două blocuri nucleare cu BWR, avînd o putere de 1050 MW). Tot aici are loc reciclarea specialiștilor.

(După „Referativnîi jurnal" 22 Energhetika, vol. general nr. 11 1987, poz. 11 U 134)

Pregătirea personalului de exploatare pentru centralele nuclearoelectrice din Japonia

În articolul „*Licensing system for reactor operators in Japan*" apărut în *Atoms Jap.* 31, 1987, se analizează sistemul de pregătire a personalului cu funcții de răspundere în cadrul centralelor nuclearoelectrice din Japonia. Specialiștii șefi ai reactoarelor nucleare, care îndeplinesc funcții de control al securității în exploatarea centralelor nuclearoelectrice, dau examene de stat în scris și oral. La probele scrise se verifică cunoștințele teoretice, construcția reactoarelor nucleare, exploatarea și conducerea reactoarelor nuclearoelectrice, metodele de măsurare a radiațiilor ionizate și de protecție contra acestora, legislația.

La examenele orale se verifică cunoștințele practice. În perioada 1959—1987, din 3906 candidați au reușit să treacă examenele numai 615, din care 47 lucrează în prezent ca specialiști șefi ai unor reactoare nucleare industriale sau experimentale.

Din 1981, organizația MITI a introdus sistemul de diplome, valabile timp de trei ani, pentru operatorii de mare răspundere la exploatarea reactoarelor nucleare. Pentru obținerea diplomelor trebuie trecută o probă privind verificarea îndeminării de exploatare, trebuie audiat un curs de legislație și un altul privind avariile care au avut loc în străinătate și în Japonia, iar apoi trebuie dat un examen oral.

Pe o perioadă de șase ani, dintr-un număr de 319 candidați au primit diplomă un număr de 296. Pentru funcționarea tuturor centralelor nuclearoelectrice din Japonia, în momentul de față sînt necesari 110 operatori de mare răspundere la exploatarea reactoarelor nucleare.

Metodă, algoritmi și programe pentru proiectarea asistată a pozării cablurilor dintr-o termocentrală

Ing. EUGEN NENIȚĂ, ing. OVIDIU APOSTOL, mat. GHEORGHE TOADER*

Descriptori : termocentrală, cablu

Lucrarea prezintă o metodă de inginerie asistată de calculator de pozare a cablurilor într-o termocentrală, pornind de la colecțiile de cabluri și trasee, acestea din urmă fiind grupate pe fluxuri de trasee generate automat printr-o metodă expusă în [1].

Sînt descrise etapele algoritmului de calcul, pornind de la încărcarea cablurilor și traseelor ca date inițiale și încheind cu elaborarea situațiilor de ieșire specifice (cu date de antemăsurătoare sau desen automat) obținute pe baza pozării automate. Lucrarea scoate în evidență performanțele, restricțiile și limitele pozării prin metoda și algoritmii prezentați, precum și perspectivele proiectării gospodăriei de cabluri prin metoda expusă.

The author presents a computer assisted engineering method for cable laying inside a thermal power plant, starting from the collection of cables and layouts, the last ones being grouped in layout flows generated automatically by a method presented in [1] .

The computation algorithm stages are described starting from the cables and layouts as initial data as well as the specific exit situations (with pre-measurement data or automatic design) obtained by automatic laying are presented. The paper outlines performances, restrictions and limits of cable laying by the presented method and algorithm as well as the outlooks of the cable network design by the exposed method.

Introducere

Pozarea cablurilor este o fază a proiectării gospodăriei de cabluri dintr-o termocentrală care constă în stabilirea, pentru fiecare cablu, a locurilor de trecere și a amenajărilor metalice cuprinse între locurile de montaj, denumite convențional „origine" și „destinație", ale cablului respectiv (sensul este dat de regula „de la mai puțin aglomerat la mai aglomerat", ca număr de cabluri pe traseu) și rezultate din datele furnizate de utilizator.

Denumirea se întîlnește și în activitatea de montaj, unde reprezintă transpunerea în practică a prevederilor din proiect.

Problema comportă două aspecte :

a — aspectul geometric, pentru care sînt necesare o metodă matematică și un algoritm corespunzător prin care să se poată determina toate variantele de pozare ale fiecărui cablu în parte, în condiții inițiale date ;

b — aspectul economic, prin care se realizează selectarea variantei optime de pozare a fiecărui cablu în urma aplicării unor restricții pe baza unor criterii specifice aplicate secvențial, ultimul fiind lungimea minimă.

În proiectare problema se rezolvă pînă în prezent după metode care nu asigură optimul (în raport cu un anumit criteriu considerat prioritar ca, de exemplu : costuri totale, consum de Cu sau Al sau altele). Introducerea calculului automat bazat pe un algoritm matematic care permite obținerea comodă a unor variante fundamentate (prin calcul) poate asigura optimul dorit.

Metoda expusă în continuare a stat la baza elaborării unor proceduri automate de calcul executabile pe sistemul FELIX C-1024 și integrate în sistemul CICERO de inginerie asistată a părții electrice și de automatizare a termocentralelor, proiectat și realizat de ingineri și informaticieni din institut ; aceste proceduri permit obținerea unor rezultate optimale ale problemei pozării cablurilor în condițiile și restricțiile care vor fi arătate în cele ce urmează.

1. Formalizarea matematică a problemei pozării cablurilor

În lucrare s-au folosit următoarele notații și terminologie :

Se notează cu $\mathcal{C}$ mulțimea cablurilor dintr-o termocentrală,

$\mathcal{C} = \{(Ci,\ Oi,\ Di)/Ci = \text{simbol cablu},\ Oi = \text{cod origine},\ Di = \text{cod destinație}\}\ i = 1, \ldots, n$;

unui cablu îi sînt asociate și alte date utile în prelucrări.

Exemple de cabluri :

(JB4213 A, 1JB01A01, 1LH10A01), (1JM4001A, 1JM11E03L03, 1LJ12B03).

Se notează cu $\mathcal{T}$ mulțimea traseelor rectilinii prin care pot trece cablurile definite anterior,

* Ing. Eugen Neniță, ing. Ovidiu Apostol, mat. Gheorghe Toader — Institutul de Studii și Proiectări Energetice, București.

$\mathcal{T} = \{(Tk, O'k, D'k) / Tk =$ simbol traseu, $O'k = (XO_k; YO_k; ZO_k) =$ punct origine, $D'k = (XD_k; YD_k; ZD_k) =$ punct destinație traseu$\}$ $K = 1, \ldots, p$.

Exemple de trasee:

(T1, (10, 10, 20), (10, 10, 40)); (1KB5001B, (0, 15, 30), (25, 3, 15, 30)).

Deci un traseu este un vector în spațiu.

Prin relația:

$$l_k = \sqrt{(XO_k - XD_k)^2 + (YO_k - YD_k)^2 + (ZO_k - ZD_k)^2}$$

se calculează lungimea l_k a traseului T_k.

Deoarece orice cablu are un traseu de origine și un traseu de destinație, în mulțimea $\mathcal{T}$ există următoarele categorii de trasee:

— trasee care pot fi destinații de cabluri (tip D);

— trasee care pot fi origini de cabluri (tip O);

— trasee care pot fi origini pentru unele cabluri și destinații pentru altele (tip A);

— trasee de trecere, care nu sînt capete de cabluri sau care nu conțin nici un cablu (tip b = blanc).

Informația care arată ca un traseu este de tip origine pentru cabluri avînd originea $Q_i = 1$ RL04A007 A este de una din formele 1RL, 1RL0, 1RL04, 1RL04A, 1RL04A0, 1RL04A00, 1RL04A007, 1RL04A007A și se numește subgrupă funcțională de tip origine, notată SGF0, analog subgrupa funcțională de tip destinație, SGFd, pentru un traseu destinație pentru cablul cu destinația Di = 1 GH01A001B poate fi de forma: 1GH, 1GH0, 1GH01, 1GH01A, GH01A0, 1GH01A00, 1GH01A001, 1GH01001B.

Problema se pune și invers: pe traseul avînd SGF0 de forma 1HB se pot poza toate cablurile care au în codul originii primele trei caractere egale cu 1HB, deci cabluri cu origini ca 1HB45A007B, 1HB03 etc. și în mod asemănător pentru destinație.

În acest fel, unor trasee li se asociază una pînă la zece subgrupe funcționale pe origine sau/și pe destinație, rezultînd astfel tipul de traseu indicat anterior (eventual, pot lipsi).

Rolul SGF va fi evidențiat în cele ce urmează.

Se notează cu $\mathcal{F}$ mulțimea fluxurilor de trasee definite pe mulțimea de trasee dată, $\mathcal{T}$, determinate prin metoda prezentată în [1]:

$\mathcal{F} = \{Frs / Frs = (Tr, Ts), Frs =$ flux de trasee, $Tr =$ traseu de origine (fără antecedenți), Ts — traseu de destinație (fără descendenți)$\}$ $r, s = (1, \ldots, p)$.
$r \neq s$

Un flux de trasee este un șir complet (maximal) de trasee adiacente începînd cu un traseu fără antecedenți și sfîrșind cu un traseu fără descendenți.

Fluxurile de trasee se determină din graful conex fără circuite, definit pe mulțimea de trasee $\mathcal{T}$, în condițiile și modul prezentate detaliat în [1].

Dacă pentru fiecare flux $Frs \in \mathcal{F}$ se consideră toate subfluxurile $F'_{hj} \subset F_{rs}$ (considerate ca mulțimi de trasee) $F'_{hj} = (T'_h, T'_j)$ unde T'_h este un traseu de tip O sau A (origine), iar T'_j este traseu de tip D sau A (destinație), rezultă mulțimea $\mathcal{F}'$ a fluxurilor unice pentru pozare.

$\mathcal{F}' = \{F'_{hj} \mid F'_{hj} = (T'_h, T'_j),$ $T'_h =$ traseu de tip O sau A, $T'_j =$ traseu de tip D sau A$\}$ $h, j \in \{1, \ldots, p\}$.
$h \neq j$

Determinarea mulțimii $\mathcal{F}$, rezolvă prima parte a aspectului geometric al pozării cablurilor, deoarece $\mathcal{F}'$ este mulțimea tuturor posibilităților existente pentru pozarea tuturor cablurilor (la nivel global).

Metoda și algoritmul prezentate în continuare rezolvă complet aspectul geometric al pozării cablurilor, prin determinarea pentru fiecare cablu a tuturor fluxurilor pe care acesta se poate poza și, de asemenea, rezolvă și aspectul economic.

2. Descrierea algoritmului de pozare a cablurilor

Prezentăm în continuare fazele acestui algoritm care a stat la baza elaborării procedurilor automate de calcul.

2.1. Încărcarea datelor referitoare la cabluri trasee, tipuri de trasee și caracteristici ale cablurilor în fișierele permanente CABLU, TRASEU, TIPTRAK și SELCA (denumirile aparțin sistemului CICERO). Regăsim aici mulțimile $\mathcal{C}$ și $\mathcal{T}$ definite la pct. 1.

Se menționează faptul că procedurile de creare-actualizare a acestor fișiere elaborează protocoale variate de erori, rezultate în urma procedurilor de validare. Aceste protocoale ajută pe utilizator la corectarea datelor inițiale.

De asemenea, se precizează că mulțimea $\mathcal{C}$ se obține prin generarea automată a diverselor categorii de cabluri, în cadrul subsistemelor corespunzătoare din CICERO cu avantaje evidente (creșterea productivității muncii la încărcarea datelor).

2.2. Determinarea automată a fluxurilor maximale de trasee corespunzătoare unor categorii de trasee pe care se dorește pozarea unor categorii de cabluri, trasee care se constituie într-un graf conex fără circuite, de maximum 99 vîrfuri și 400 de arce, dintre care maximum 10 pot fi arce luate în ambele sensuri [1]. Deci, rezultă mulțimea $\mathcal{F}$ definită în §1.

La o prelucrare corespunzătoare fazei 2.2. se determină mulțimea $\mathcal{F}i$ din graful atașat mulțimii de trasee $\mathcal{T}i[1]$, unde $\mathcal{T}i \subset \mathcal{T}$ și corespunde unei mulțimi $\mathcal{C}i \subset \mathcal{C}$, $i = 1,\ldots,q$.

2.3. Determinarea automată a tuturor fluxurilor de trasee asociate fiecărui cablu pentru pozare. Un astfel de flux se caracterizează prin faptul că traseele de capăt (origine și destinație) coincid cu traseele determinate prin calcul, asociate originii și respectiv destinației cablului, pe baza subgrupelor funcționale atribuite traseelor.

Această fază de prelucrare se aplică pe mulțimile $\mathcal{C}i$, $\mathcal{F}i$ menționate la §2.2., rezultînd și fișierele $\mathcal{F}'i$ de fluxuri pentru pozare (§ 1). Rezultatele prelucrărilor menționate la pct. 2.2. și 2.3. realizate iterativ, se stochează în fișierul CABLU-FLUX, care se referă la ansamblul mulțimilor $\mathcal{C}$ și $\mathcal{F}$, respectiv $\mathcal{F}$.

Acest fișier conține datele inițiale (de intrare) pentru procedurile de optimizare prezentate în § 2.4. El este ordonat prin sortare ascendentă după simbolurile traseelor de capăt (origine și destinație).

Prelucrările realizate la faza 2.3. se grupează în următoarele subfaze și acționează asupra mulțimilor $\mathcal{C}i$, $\mathcal{T}i$ și $\mathcal{F}i$, $i = 1\ldots q$:

2.3.1. Constituirea fișierului de lucru F1S1 care conține articole de tip C și articole de tip T obținute din fișierele $\mathcal{C}i$ și $\mathcal{T}i$.

Fișierul F1S1 se ordonează prin sortare astfel încît să se poată obține grupuri de articole de tip T și de tip C care au identice primele trei caractere din simbolul afectat originii-destinației cablului și SGF0 sau SGFd ale traseelor; în cadrul grupului există o ordonare descrescătoare pe celelalte caractere ale acestor simboluri.

2.3.2. Prin parcurgerea secvențială a fișierului F1S1 sortat, se pot depista cablurile care nu sînt poziționate pe trasee prin faptul că grupul cablurilor respective nu conține nici un traseu.

Dual, se depistează traseele pe care nu se pozează cabluri, în grupul respectiv neexistînd cabluri. Aceste date se evidențiază sub forma unor protocoale afișate la imprimantă.

În continuare, se constituie fișierul de lucru F1S2 de articole de tip „CABLU — TRASEU origine", sau de tip „CABLU — TRASEU destinație"; un astfel de articol asociază cablul și traseul care au identice simbolurile originii și SFG0 (SFGA), respectiv destinației și SFGd (SFGA), pe toată lungimea SGF, care este în general mai mică (SGF are un număr mai mic de caractere). Aceste articole se obțin prin prelucrarea a doi vectori din memorie, constituiți din articolele fiecărui grup din fișierul F1S1.

Fișierul F1S2 obținut se ordonează după simbolul cablului (numit și simbol funcțional), astfel încît să se poată parcurge secvențial grupuri de articole care au același simbol de cablu.

2.3.3. Prin parcurgerea secvențială a fișierului F1S2 sortat se constituie alți doi vectori în memorie cu articolele fiecărui grup al unui cablu, respectiv pentru articole de tip origine și de tip destinație. Prin prelucrarea celor doi vectori se constituie articolele fișierului CABLU — TRASEE. Un articol de acest fel asociază cablului un traseu de tip origine pe originea cablului și un traseu de tip destinație pe destinația cablului.

Fișierul CABLU — TRASEE se ordonează crescător pe simbolurile traseelor de origine și de destinație și crescător pe simbolul cablului.

2.3.4. Fișierul CABLU — TRASEE sortat este parcurs secvențial, în paralel cu $\mathcal{F}'i$ și se prelucrează în vederea constituirii articolelor pentru fișierul cumulativ CABLU — FLUX. Un astfel de articol asociază unui cablu un flux, cu condiția ca acesta să aibă traseele de capăt identice.

Fișierul CABLU — FLUX conține toate articolele de acest tip, rezultate din prelucrarea iterativă a tuturor mulțimilor de date ($\mathcal{C}i$, $\mathcal{T}i$, $\mathcal{F}i$, $\mathcal{F}'i$) $i = 1,\ldots, q$, deci conține toate fluxurile asociate fiecărui cablu pentru pozare.

Se evidențiază separat cablurile care nu se pot poza din lipsă de flux în fișierul $\mathcal{F}'i$.

Starea fișierului CABLU — FLUX pentru prelucrările ulterioare este sortată ascendent pe simbol cablu.

2.4. Optimizarea pozării cablurilor este faza care selectează pentru fiecare cablu fluxul unic pe care acesta se poate poza.

Se aplică secvențial restricțiile:

— redondanța cablului trebuie să coincidă cu redondanța fiecărui traseu component al fluxului;

— concordanța între tipul cablului (de energie, de automatizare sau de telecomunicații) și tipul traseelor componente ale fluxului (de exemplu, un cablu de energie nu poate fi pozat pe trasee de automatizare);

— lungimea minimă a fluxului (ca sumă de lungimi de trasee componente), cu adaosul de la capete, conduce la o lungime minimă pentru cablu.

În urma aplicării criteriilor de optimizare poate rezulta un flux pe care se poate poza cablul. Cablurile care nu se pot poza la această etapă din lipsă de fluxuri completează protocoalele afișate anterior. Articolele corespunzătoare acestor cabluri se elimină din fișierul CABLU — FLUX, care în final va conține cablurile pentru care a fost rezolvată problema pozării sub ambele aspecte: geometric și economic.

2.5. La această fază se elaborează o situație privind pozarea cablurilor pe trasee prin parcurgerea fișierului CABLU — FLUX, apoi situația duală privind încărcarea traseelor cu cabluri care evidențiază gradul de umplere,

în secțiune geometrică, a traseelor cu cabluri și tipul de traseu din fișierul TIPTRAK menționat la începutul prezentării, determinat automat. Depășirea procentului care indică gradul de umplere poate să determine reluarea prelucrării într-o altă variantă a datelor inițiale referitoare la trasee ($\mathcal{T} = \bigcup_i \mathcal{T}i$), atît din punctul de vedere al definirii acestora, cît și al subgrupelor funcționale atașate. Modificările ce se impun se fac local și nu afectează toată mulțimea de date inițiale, în schimb rezultatele finale vor fi altele într-o cantitate mult mai mare.

2.6. Pentru varianta de pozare care convine se pot elabora și situații ce conțin date de antemăsurătoare pentru gospodăria de cabluri, date privind consumurile de materiale pe tipuri și costuri conform datelor preluate din fișierul de materiale (SELCA) și din fișierul de tipuri de trasee (TIPTRAK).

2.7. Rezultatele pozării stocate în fișierele CABLU și TRASEU se folosesc pentru desenul automat, varianta monofilară, proiecție axonometrică și ortogonală (aplicația este în curs de realizare).

3. Performanțe, restricții și limite ale pozării automate a cablurilor

Așa cum s-a arătat, procedura de pozare elaborată este executabilă pe sistemul FELIX C1024 și necesită următoarele resurse hard:

— o unitate bandă magnetică pentru utilitarele de restaurare-salvare și pentru introducerea datelor;

— două unități disc magnetic;

— o imprimantă;

— o partiție de memorie de 150 kiloocteți la nivelul întregului sistem CICERO.

Partea de desen automat se realizează pe sistemul CORAL la masa de desen de tip KOVO. Utilizarea perifericelor magnetice de tip disc a permis rezolvarea problemelor de pozare prin posibilitatea utilizării fișierelor deoarece, se știe, segmentul de date al oricărui program nu poate depăși 64 Ko.

Zonele de memorie internă afectate procedurilor au fost reutilizate prin redefinire ori de cîte ori a fost posibil, fapt ce a redus foarte mult lungimea programelor.

Limbajul COBOL a fost preferat pentru facilitățile sale privind lucrul cu volume mari de date organizate în fișiere cu acces secvențial, direct sau mixt, dar și pentru comoditatea programării procedurilor de sortare destul de complexe ale algoritmului și rapiditatea execuției acestora.

Referitor la timpul de lucru la calculator se pot face următoarele constatări:

— faza 2.1. fiind o fază clasică de creare-actualizare de fișiere, consumă timp proporțional cu volumele de date prelucrate;

— faza 2.2. consumă timp aproape egal cu cel consumat de toate celelalte faze și chiar îl poate depăși atunci cînd numărul de arce duble dintr-un graf (trasee considerate în dublu sens) este mai mare decît 1.

În articolul [1] s-a arătat că numărul grafurilor care se prelucrează este 2^k unde k este numărul de arce duble. Există restricția de program $0 \leqslant k \leqslant 10$ (ca o limitare rezonabilă a timpului de execuție).

Pe un exemplu de calcul considerat, pozarea propriu-zisă (fazele 2.2. — 2.6.) a consumat circa 4 minute.

Reamintim că restricțiile și limitele programelor se referă la datele problemei. Există următoarele limite impuse datelor:

— numărul de cabluri este limitat de volumul alocat fișierului CABLU;

— numărul de trasee este limitat de volumul alocat fișierului TRASEU;

— un graf conține maximum 99 vîrfuri și 400 de arce din care maximum 10 pot fi duble;

— numărul maxim de trasee de pozare pentru un cablu este 25;

— numărul maxim de cabluri care pot trece printr-un traseu este 250;

— vectorii menționați la 2.3.2. au dimensiunea 100;

— vectorii menționați la 2.3.3. au dimensiunea 50.

Perspective

O variantă de prelucrare în regim conversațional impune asigurarea posibilității stocării datelor de către sistem; deci perifericul disc să nu lipsească; apoi, asigurarea executării rapide și comode a sortărilor.

Un prim pas ce va fi făcut va consta în preluarea datelor de intrare (eventual numai cele de actualizare) de la terminal pe un sistem CORAL care poate asigura și partea de desen automat.

Rezultatele obținute pînă în prezent pot fi cunoscute în detaliu la utilizatorul sistemului CICERO, secția „electric și de automatizări" a ISPE București.

Bibliografie

[1] Toader, Gh. *Metodă, algoritm și program pentru determinarea automată a fluxurilor de cabluri într-o termocentrală.* In: Energetica, 33, nr. 9/1986, p. 414—418.

[2] *Lucrări de informatică* (analiză și programare COBOL pe FELIX și CORAL).

(Primit la 15 februarie 1988, acceptat la 9 august 1988)

O problemă de semantică: putere calorifică sau căldură de ardere?

Conf. dr. ing. ION C. IONIȚĂ *

Lucrarea analizează corectitudinea utilizării termenului „putere calorifică". În locul acestuia, folosit în prezent în mod convențional, dar necorespunzător de marea majoritate a lucrărilor românești de specialitate, se propune ca pentru energia termică degajată prin arderea completă a unității de masă de combustibil solid și lichid sau a unității de volum de combustibil gazos, să fie utilizat termenul „căldură de ardere".

The paper analyzed the correct use of the term „calorific power". Instead of this term conventionally but uncorrectly used in the great majority of the Romanian experts' reports, it is proposed that for the thermal energy release by the complete burning of the solid or liquid fuel mass unit or of the gaseous fuel volume unit, the term „heat value" should be used.

Este unanim acceptat faptul că limbajul tehnic se îmbogățește și se perfecționează odată cu dezvoltarea științei și tehnicii. Unii termeni, corespunzători într-o anumită perioadă de dezvoltare, ajung să fie depășiți și trebuie să fie înlocuiți cu alții, pentru a exprima mai exact sensul noțiunii pe care o reprezintă. Din această necesitate s-a născut semantica, ramură a lingvisticii, care se ocupă cu studierea sensurilor cuvintelor și a evoluției acestor sensuri.

Scopul acestor rînduri este de a pune în discuție corectitudinea utilizării în continuare a termenului **putere calorifică,** folosit prin consens în literatura de specialitate.

După cum este cunoscut, cantitatea de căldură Q degajată prin arderea unității de masă de combustibil solid sau lichid sau a unității de volum de combustibil gazos se măsoară în kJ/kg și, respectiv, în kJ/m³**. Cum se numește energia termică Q?

Termenul folosit frecvent în România este putere calorifică, provenit din cel francez „puissance calorifique". El figurează astfel în normativul românesc STAS 1647-85 și este folosit în majoritatea lucrărilor de specialitate [1, 4, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 18, 19]. Însuși *Dicționarul explicativ al limbii române* [7] definește la p. 112 : „*putere calorifică — cantitatea de căldură dezvoltată de un kilogram de combustibil cînd arde complet*".

Sînt corecte exprimările de mai sus?

Examinîndu-le, constatăm că o cantitate de căldură, deci o energie, care se măsoară în Joule, este echivalată convențional, dar inadecvat, cu o putere, care este, după cum se cunoaște, prima derivată în raport cu timpul a energiei și se măsoară în J/s sau în watt.

În lucrarea [1] găsim definițiile :

— la p. 403 : „*putere — derivata în raport cu timpul a energiei transferate unui sistem de la sistemele cu care el se găsește în contact*" ;

— la p. 404 : „*putere calorifică, cantitatea de căldură dezvoltată la arderea completă a unității de masă a unui combustibil*".

Se observă că definiția de la p. 404 nu corespunde cu cea dată la p. 403 pentru termenul *putere*, definit corect. La p. 404 o putere este echivalată inadecvat cu o energie, deși la p. 403 se arată că puterea este derivata în raport cu timpul a energiei.

În lucrarea [2], la p. 395 mărimea Q_{mf}^{lm} este denumită *căldură de ardere* și se arată că ea este cantitatea de căldură degajată prin arderea unui kilogram de combustibil, ceea ce este corect. Mai jos însă, în cuprinsul aceleiași pagini, aceeași mărime Q_{mf}^{lm} este denumită *putere calorifică*.

În lucrarea [3] la p. 30 găsim o formulare care se apropie de cea corectă, dar conține aceeași contradicție : „*Puterea calorifică este căldura de ardere a unității de masă sau de volum*".

În lucrarea [5], referitor la termenul discutat găsim în două locuri diferite doi termeni definiți similar, dar denumiți diferit :

— la p. 168 : „*Căldura de combustie sau de ardere se dezvoltă cînd se arde, în anumite condiții, un compus sau un element chimic. Se determină cu bomba calorimetrică tip Berthelot și se măsoară în chimie, în kcal/mol, iar în tehnică, în kJ/kg, sau în cazul combustibililor gazoși, în kJ/m³*" ;

— la p. 127 : „*Putere calorifică — căldura degajată prin arderea completă a unității de cantitate dintr-un combustibil*". Și la această ultimă definiție observăm echivalarea inadecvată a puterii (calorifice) cu energia (termică).

* Conf. dr. ing. Ion C. Ioniță — Universitatea Galați.

** În sistemul SI : kJ . m^{-3} (în condiții de presiune și temperatură normală).

În lucrarea [20], apărută relativ recent, se pot citi următoarele definiții:

— la p. 5, pct. 2.1.76: *„Căldura de ardere — căldura degajată prin arderea completă a unei cantități determinate dintr-un combustibil, în condiții stabilite de temperatură și presiune"*;

— la p. 10, pct. 2.2.66: *„Putere calorifică superioară (inferioară) — cantitatea de căldură dezvoltată prin ardere completă izoterm — izobară la stare normală, a unei unități de masă de combustibil, în situația în care apa formată sau eliberată în cursul arderii este în fază lichidă (gazoasă)"*.

Citind cele două definiții se poate ușor constata că ele exprimă aceeași mărime fizică, deși pentru denumirea ei se folosesc două noțiuni diferite.

Cu excepția limbii franceze, în celelalte limbi europene de mai largă circulație nu constatăm această inadverdență. Căldura degajată prin arderea completă a unității de masă sau de volum de combustibil se numește „heating value" în engleză [6], „heizwert" în germană [5], „teplota sgorania" în limba rusă [17].

Concluzii

Pentru energia termică degajată prin arderea completă a unității de masă de combustibil solid și lichid sau a unității de volum de combustibil gazos, în limba română se folosește termenul putere calorifică, tradus din limba franceză, probabil cu sensul de posibilitate, capacitate de a produce căldură. Întrucît în limbajul tehnic românesc prin putere se înțelege prima derivată în raport cu timpul a energiei, este inadecvat să se folosească termenul putere (calorifică) pentru a defini energia (termică) degajată prin arderea combustibilului.

În locul termenului „putere calorifică" utilizat în prezent în mod convențional, dar necorespunzător, de marea majoritate a lucrărilor de specialitate, se propune ca pentru energia termică degajată prin arderea completă a unității de masă de combustibil solid și lichid sau a unității de volum de combustibil gazos, să fie utilizat termenul **„căldură de ardere"** așa cum, de altfel, au și făcut-o în parte lucrările [2, 5, 20].

Bibliografie

[1] *Dicționar de mecanică*. Ed. Științifică și Enciclopedică, București, 1980.

[2] K i r i l i n, V.A. ș.a. *Termodinamica*. Ed. Științifică și Enciclopedică, București, 1985.

[3] N i a c, G. ș.a. *Formule, tabele, probleme de chimie fizică*. Ed. Dacia, Cluj-Napoca, 1984.

[4] * * * *Manualul inginerului termotehnician*. Ed. Tehnică, București, 1986.

[5] D ă n e s c u, A l. ș.a. *Lexicon de termodinamică și mașini termice*. Vol. I, Ed. Tehnică, București, 1985.

[6] *Dicționar tehnic englez-român*. Ed. Tehnică, București, 1967.

[7] *Dicționarul explicativ al limbii române*. Ed. Academiei R.S.R., București, 1975.

[8] P a v e l, E. ș.a. *Unități de măsură pentru mărimi de bază în energetică*. Energ. I, Ed. Tehnică, București, 1986.

[9] P ă n o i u, N. *Cazane de abur*. Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1982.

[10] M i h ă e s c u, L. *Arzătoare turbionare*. Ed. Tehnică, București, 1986.

[11] D ă n e s c u, A l. ș.a. *Termotehnică și mașini termice*. Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1985.

[12] P ă n o i u, N. ș.a. *Instalații de ardere a combustibililor solizi*. Ed. Tehnică, București, 1985.

[13] L e m n e a n u, N. ș.a. *Instalații de ardere cu combustibili lichizi*. Ed. Tehnică, București, 1982.

[14] T ö l l e, H. *Măsurări în instalațiile termice*. Ed. Tehnică, București, 1972.

[15] U n g u r e a n u, C. *Generatoare de abur pentru instalații energetice, clasice și nucleare*. Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1977.

[16] Ș t e f ă n e s c u, D. ș.a. *Termotehnică*. Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1983.

[17] *Teplovoi rasciot kotelinih agregatov*. Izd. Energhiia, Moskva, 1973.

[18] STAS 3361 . *Gaze combustibile. Determinarea puterii calorifice prin curent de apă*.

[19] STAS 5269-82. *Combustibili solizi. Determinarea puterii calorifice*.

[20] STAS 1647-85. *Căldură. Terminologie și simboluri*.

NOTA REDACȚIEI

Invităm specialiștii în termoenergetică, în special autorii citați în bibliografie, să-și expună, în paginile revistei Energetica, punctul de vede în legătură cu problema de terminologie ridicată de autorul prezentului articol.

Dr. ing. Iosif Cserveny

(Primit la 9 martie 1988, acceptat la 9 mai 1988)

NOUTĂŢI

Invenţii-inovaţii

(54) Titlul invenţiei: **DIG DE LARG, CAPTATOR DE ENERGIE**

(72) Inventatori: dr. ing. Luca Gheorghe, ing. Iulian Constantin, ing. Lazăr Dan Petru

(21 Dosar nr.: 114469
(22) Data înregistrării: 07.05.84
(45) Data publicării: 20.11.86
(51) Clasificare internaţională: E 03 B 3/04
(11) Brevet România: 90571

(73) Titular: Institutul de Studii şi Proiectări Hidroenergetice Bucureşti.

Invenţia se referă la un dig de larg, captator de energie, a cărui structură este concepută pentru adăpostirea porturilor maritime şi în scop energetic, pentru valorificarea practică, în cadrul unui sistem integrat, a energiei valurilor, vîntului şi radiaţiei solare.

Sînt cunoscute diferite structuri de diguri cum sînt cele cu taluzuri, cu parament vertical sau flotante, dar toate aceste diguri îndeplinesc numai funcţia de adăpostire a incintelor portuare, fără a valorifica şi energiile naturale care le solicită.

Scopul invenţiei este de multiplicare a funcţiei unui dig de larg ce adăposteşte o incintă portuară.

Problema pe care o rezolvă invenţia constă din prevederea, în corpul unui dig, a unei structuri modulate, care să permită captarea energiei valurilor, a energiei eoliene şi a radiaţiilor solare. Acest dig elimină dezavantajul arătat mai sus prin aceea că este o centrală-dig care, pe lîngă adăpostirea porturilor maritime, oferă şi posibilitatea includerii unor agregate hidraulice, de captare a energiei valurilor, în nişte cuve-canal inferioare, precum şi a unor agregate eoliene, în alveolele unei reţele spaţiale expuse vîntului, iar terasa (placa) superioară oferă posibilitatea amplasării unor captatoare solare.

Se dă în continuare un exemplu de realizare a invenţiei (fig. 1 şi 2).

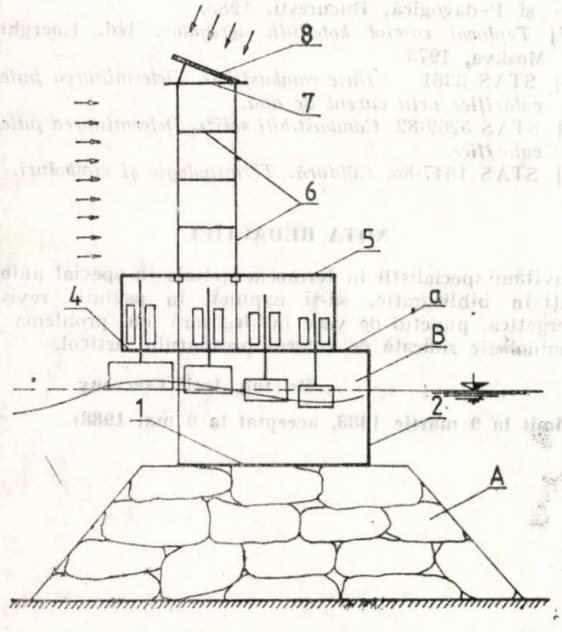


Fig. 1. Secţiune transversală parţială printr-un dig de larg captator de energie.

Conform invenţiei digul de larg, captator de energie, este alcătuit dintr-un prism de piatră **A**, format din rocamente, elemente din beton special concepute pentru stabilitate, plasat pe teren ce susţine o structură din beton armat **B**, concepută pentru montarea unor instalaţii de captare a energiei valurilor, a energiei eoliene şi a radiaţiilor solare.

Structura de beton armat **B**, modulată în sens transversal funcţie de dimensiunile instalaţiilor care urmează să se monteze, are în componenţă o cuvă pentru primirea valurilor, plasată sub nivelul apei, formată dintr-un radiar **1**, un perete

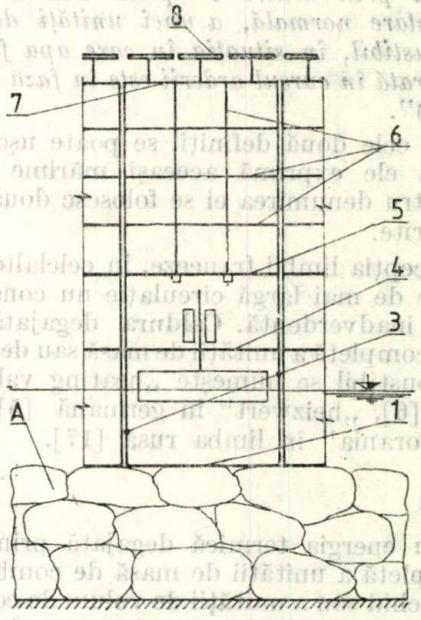


Fig. 2. Secţiune longitudinală parţială prin digul din figura 1.

dorsal **2**, doi pereţi laterali **3** şi o placă superioară **4**, ce iese în consolă spre larg, fiind necesară susţinerii instalaţiilor de valorificare a energiei valurilor prin intermediul unor plutitoare.

Spaţiul cuvei ce primeşte prin partea frontală valurile formate la partea superioară a apei mării se dimensionează ca formă în aşa fel, încît să se obţină efectul maxim al apei în mişcare.

Peste cuva de primire a valurilor, respectiv peste placa **4**, structura de beton armat **B** mai este alcătuită dintr-un schelet **5**, ce formează sala instalaţiilor şi care este plasat peste cuvă pentru lăsarea unei benzi de circulaţie **a**, şi dintr-un schelet **6**, înălţat pe verticală, dimensionat în consecinţă pentru plasarea altor instalaţii de valorificare a energiei eoliene.

La partea superioară, scheletul **6**, din beton armat, este amenajat cu o terasă **7**, pentru a permite plasarea unor captatoare **8** de energie a radiaţiilor solare.

Coeficientul de siguranţă la lunecare şi răsturnare a digului cu structură de beton armat este funcţie de încărcări şi natura terenului de fundaţie şi nu de alcătuirea constructivă a structurii care se poate modela şi încărca corespunzător.

Prismul pe care se reazemă structura prezintă stabilitate, centrul de greutate al întregii construcţii plasîndu-se în interiorul poligonului de rezemare.

Aplicarea invenţiei dig de larg, captator de energie, prezintă avantajul că oferă posibilitatea comasării agregatelor destinate captării energiilor regenerabile, care angajează digul, şi, totodată, posibilitatea folosirii în comun a unei părţi din echipamentul energetic auxiliar.

Referinţe bibliografice

Brevet, S.U.A., nr. 4384456
Brevete, Franţa, nr. 2131312; 2526823.

(54) Titlul invenției: **INSTALAȚIE PENTRU UTILIZAREA ENERGIEI VALURILOR**
(72) Inventator: ing. Constantin Iulian
(21) Dosar nr: 118728
(22) Data înregistrării: 14.05.85
(45) Data publicării: 30.04.87
(51) Clasificare internațională F 03 B 13/12
(11) Brevet România: 91570
(73) Titular: Institutul de Studii și Proiectări Hidroenergetice, București

Invenția se referă la o instalație pentru utilizarea energiei valurilor prin transformarea mișcării preponderent verticale a apei în mișcare de rotație cu ajutorul unui flotor.

Sînt cunoscute instalații de utilizare a energiei valurilor, prevăzute cu un flotor care antrenează prin niște pîrghii, lanț sau coroane dințate, niște roți semilibere montate pe un ax pe care se mai află și un volant și care transmite mișcarea de rotație unui consumator oarecare de energie, însă acestea prezintă dezavantajul că, folosind ca perioadă activă numai cursa de coborîre a flotorului, pentru uniformizarea turației axului de recepționare a mișcării, este necesar ca acesta să fie acționat de un număr ridicat de flotoare, desfășurate pe o întindere destul de mare.

Sînt cunoscute și instalațiile pentru utilizarea energiei valurilor la care, pentru uniformizarea mișcării, se folosește pentru antrenarea axului de rotație atît cursa de ridicare, cît și cursa de coborîre a flotorului printr-o roată dințată antrenată diametral opus, succesiv la cursa de ridicare și coborîre a flotorului de către niște clicheți fixați pe acesta, însă și acestea prezintă dezavantajul că randamentul transformării energetice este mai redus decît în cazul folosirii numai a cursei de coborîre a flotorului ca perioadă activă.

Scopul invenției este valorificarea optimă a energiei de poziție imprimată de valuri unui flotor.

Problema rezolvată de invenție constă în îmbunătățirea uniformizării mișcării de rotație la o instalație pentru utilizarea energiei valurilor, prevăzută cu flotor în condițiile în care randamentul transformării energetice este maxim.

Instalația pentru utilizarea energiei valurilor, conform invenției, prezintă un flotor, care prin niște pîrghii antrenează o roată semiliberă pentru imprimarea unei mișcări de rotație unui ax numai la cursa de coborîre a flotorului, elimină dezavantajele instalațiilor cunoscute prin aceea că este prevăzută, pentru antrenarea unui generator electric, cu un volant montat înaintea acestuia și un alt volant de uniformizare a mișcării de rotație, primite de la flotor, între care este intercalat un cuplaj hidraulic.

Se dă în continuare un exemplu de realizare a invenției (fig. 1).

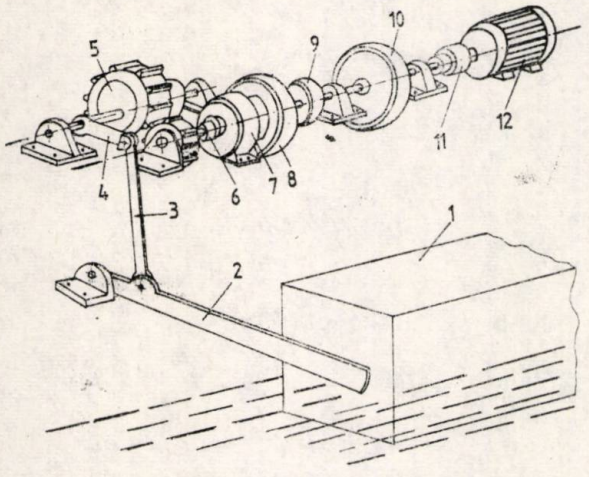


Fig. 1. Vedere în perspectivă a instalației pentru utilizarea energiei valurilor.

Instalația pentru utilizarea energiei valurilor, conform invenției, este formată dintr-un flotor **1**, care acționează printr-un braț articulat **2** legat cu o tijă **3** și cu un braț de pîrghie **4**, un mecanism cu roată semiliberă **5**, care, atunci cînd flotorul **1** coboară, transmite mișcarea, prin intermediul unui cuplaj dințat **6**, unui multiplicator de turație **7** care, la rîndul său, pune în mișcare un volant **8** care, printr-un cuplaj hidraulic **9** acționează un al doilea volant **10**, care printr-un cuplaj elastic **11** transmite momentul motor unui generator electric **10**.

După ce valul a ridicat flotorul **1** în punctul cel mai de sus al cursei, mecanismul cu roată semiliberă **5**, prin intermediul cuplajului dințat **6**, transmite momentul motor volantului **8**, impulsul durînd atîta timp cît apa se retrage de sub flotorul **1** și pînă cînd valul următor atinge din nou flotorul **1** și începe să-l ridice, de această dată fără să producă însă lucru mecanic util.

Noua instalație pentru utilizarea energiei valurilor prezintă următoarele avantaje:

— folosește energia de poziție a flotorului ridicat de val, care asigură pornirea și funcționarea cu valuri mici;

— permite o uniformizare eficientă a rotației generatorului electric.

Referințe bibliografice

Brevete Franța nr. 2428153; 2468765
Brevet S.U.A., nr. 3668412

(54) Titlul invenției: **TURBINA UNISENS**
(72) Inventatori: ing. Olaru Gheorghe, ing. Nistor Gheorghe, ing. Lazăr Dan Petru
(21) Dosar nr: 121104
(22) Data înregistrării: 12.12.85
(45) Data publicării: 30.09.87
(51) Clasificarea internațională: F 03 B 13/12
(11) Brevet România: 93057
(73) Titular: Institutul de Cercetare Științifică și Inginerie Tehnologică pentru Electrotehnică, București

Invenția se referă la o turbină unisens pentru instalații de captare a energiei valurilor.

Sînt cunoscute turbine unisens pentru conversia energiei valurilor prevăzute cu un rotor cu palete profilate, aerodinamice și cu cîte un distribuitor de fiecare parte a rotorului, avînd palete profilate fixe pentru orientarea curentului de aer și rotirea turbinei într-un singur sens. Acestea însă prezintă dezavantajul că au o construcție complicată, au viteze de rotație relativ reduse și un randament de conversie scăzut.

Se cunosc și turbine unisens care, pentru menținerea aceluiași sens de rotație, folosesc palete oscilante, însă și acestea prezintă dezavantajul că au o fiabilitate redusă și construcție complicată.

Se cunosc, de asemenea, și turbine unisens cu rotorul alcătuit din palete care au secțiunea în forma unei aripi de avion și bord de atac de lățime constantă, însă și acestea au un randament scăzut al conversiei energiei valurilor.

Scopul invenției este creșterea randamentului energetic de conversie. Problema rezolvată de invenție este realizarea unei turbine unisens pentru conversia energiei valurilor, simplă, robustă și cu randament energetic ridicat.

Noua turbină unisens elimină dezavantajele menționate, prin aceea că este prevăzută cu niște palete cu profil aerodinamic simetric și grosime descrescătoare spre periferie, care pe toată lungimea sînt continuate cu cîte o prelungire plană.

Se dă în continuare un exemplu de realizare a invenției (fig. 1—4).

Turbina unisens, conform invenției, are un rotor format dintr-un butuc **1**, niște palete **2** cu profil aerodinamic simetric, prevăzute cu o prelungire plană **3** și un inel de consolidare **4**, exterior. Rotorul antrenează un generator electric **5**, care prin niște nervuri **6** și un con **7**, se sprijină într-un cilindru superior **8**, asamblat flanșat cu un cilindru inferior **9**, prevăzut în interior și cu alte nervuri **10**, radiale, care sprijină central o cupă **11**. În construcție, rotorul este dispus între conul **7** și cupa **11**, care servesc la dirijarea aerului. Paletele **2** au un profil aerodinamic simetric și o grosime mai mare în secțiunea de lîngă butucul **1**, comparativ cu cea situată lîngă inelul de consolidare **4**. Subansamblul constituit din paletele **2** și prelungirea plană **3** este caracterizat de existența la paleta **2** a unui bord de atac **a**, iar opus, la

prelungirea plană **3**, a unui bord de fugă **b**. Prelungirea plană **3** conduce la creşterea forţei active în rotor.

Turbina unisens, conform invenţiei, prezintă următoarele avantaje :

— fiabilitate ridicată ;

— rezistenţe aerodinamice relativ reduse şi o eficienţă de conversie îmbunătăţită.

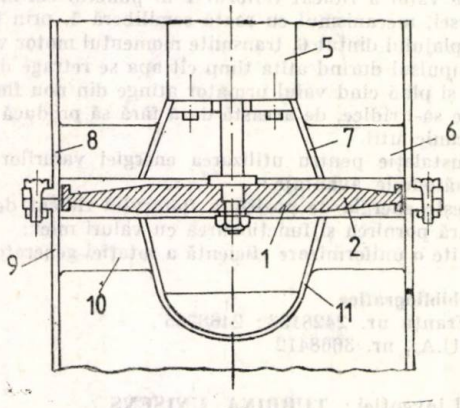


Fig. 1. Vedere laterală în secţiune a turbinei unisens.

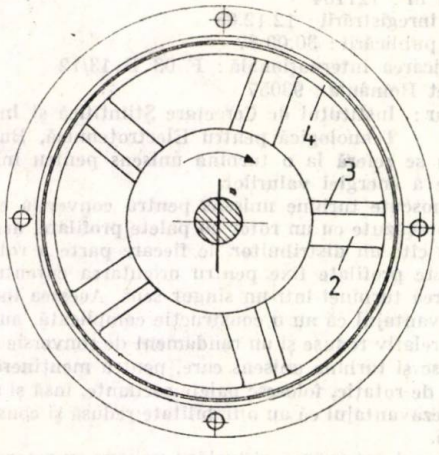


Fig. 2. Vedere de sus în secţiune transversală a turbinei unisens.

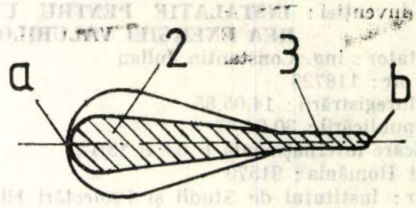


Fig. 3. Vedere în secţiune transversală a unei palete.

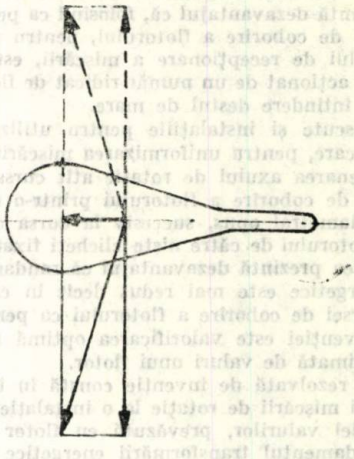


Fig. 4. Reprezentarea schematică a forţelor care acţionează asupra paletelor.

Referinţe bibliografice :

Brevet R.S.R., nr. 79184

Brevet Franţa, nr. 2370875

Brevet S.U.A., nr. 3313711

Brevet Anglia, nr. 1449740

A VII-A EDIȚIE A CONSFĂTUIRII ENERGETICIENILOR SUCEVENI CU TEMA „ECONOMISIREA ȘI UTILIZAREA RAȚIONALĂ A COMBUSTIBILILOR ȘI ENERGIEI. VALORIFICAREA SURSELOR ENERGETICE LOCALE"

Suceava, 20 mai 1988

Inclusă în programul manifestărilor tehnico-științifice interne ale ICCE—M.E.E. pe anul 1988, ce-a de-a VII-a ediție a consfătuirii energeticienilor suceveni, cu tema de mai sus, și-a desfășurat lucrările în ziua de 20 mai 1988 într-o componență de 112 participanți și având în program 30 referate, inclusiv o excursie de studii și schimb de experiență la unele obiective energetice din județul Suceava. Ajunsă la a VII-a sa ediție (se desfășoară bienal începînd din anul 1975), consfătuirea energeticienilor suceveni are caracterul unei întruniri tehnico-inginerești aplicative și de schimb de experiență în domeniul investigării căilor, metodelor și mijloacelor privind optimizarea consumului propriu tehnologic și al reducerii pierderilor de energie în instalațiile energetice de producere, transport și distribuție, precum și valorificarea resurselor energetice locale, recuperarea și utilizarea resurselor energetice secundare, valorificarea micropotențialului hidroenergetic, a potențialului energetic al vîntului, al energiei solare, biogazului, biomasei etc. Sprijinindu-se pe datele din exploatarea instalațiilor energetice, consfătuirea a făcut bilanțul progreselor realizate în județul Suceava pe linia aplicării politicii energetice a partidului și statului în domeniul realizării programelor privind reducerea consumurilor energetice prin recuperarea și refolosirea surselor energetice secundare și prin folosirea a noi surse de energie. Astfel un grupaj de referate prezentate a tratat problema microhidrocentralelor (MHC) și a centralelor hidroelectrice de mică putere (CHEMP) realizate, în curs de execuție și în curs de proiectare. S-a reținut că în județul Suceava există în funcțiune un număr de 28 MHC și CHEMP racordate la sistem, cu o putere electrică dezvoltată de circa 9 MW și care numai în luna aprilie 1988 au produs peste 3600 MWh, ceea ce echivalează cu consumul lunar de energie electrică al unuia din marii consumatori de energie electrică din județul Suceava (Combinatul de Prelucrare a Lemnului Suceava).

Pentru această lună, caracterizată prin precipitații abundente, MHC și CHEMP în funcțiune au produs energie electrică sub prețul de cost mediu estimat la faza de proiectare a obiectivelor respective.

În cadrul tematicii care a vizat MHC și CHEMP s-au prezentat aspecte multiple și variate privind echiparea electromecanică, ameliorările aduse soluțiilor tipizate, precum și orientările de perspectivă imediată în legătură cu optimizarea funcționării acestor amenajări. În acest context au fost prezentate soluții în legătură cu posibilitățile de măsurare la distanță a nivelului apei din bazinele compensatoare ale MHC—CHEMP și, respectiv, înlocuirea traductoarelor de nivel și cablu fir pilot cu relee diferențiale de presiune pentru comanda REGMO în vederea închiderii sau deschiderii aparatului director al turbinelor hidraulice.

Cu privire la utilizarea potențialului energetic al vîntului, din dezbaterile care au avut loc a rezultat, pe baza unei comunicări prezentate de IRE Suceava, că actuala zonare (cartare) a potențialului energetic eolian conține supraestimări față de nivelul real. Pentru Podișul Sucevei, acest potențial este de circa 2000 kWh/m²/an față de 3000—4000 kWh/m²/an cît estimează ICPTMUA — Sectorul Brașov — Laboratorul de cercetare pentru utilizarea energiei vîntului.

Problema prezintă un mare interes în legătură cu eficiența economică a implementării aerogeneratoarelor, avînd în vedere rezultatele înregistrate în țara noastră cu privire la realizarea parametrilor proiectați ai unor agregate eoliene puse în funcțiune și care n-au atins performanțele predeterminate prin proiectare.

Un alt grupaj de referate a tratat modul de aplicare al măsurilor rezultate din studii de energetică industrială și bilanțuri energetice în sensul optimizării consumurilor energetice. S-au pus în evidență cu acest prilej noi căi, mijloace și metode cu privire la reducerea consumurilor specifice de combustibili și energie în scopul încadrării riguroase a consumatorilor în repartițiile de energie, inclusiv prin procedeele teleurmăririi energiei consumate cu ajutorul calculatoarelor de proces.

O altă grupă de referate s-a ocupat de probleme specifice de exploatare: gradul de încărcare al rețelelor electrice, performanțele realizate în cadrul funcționării primului grup DSL-50.1 de la CET pe lignit Suceava, insularizarea CET de pe platforma industrială de celuloză și hîrtie Suceava, ameliorarea automaticii de sistem DASf în stațiile de transformare de 110 kV/mt și altele.

În contingență cu problematica consfătuirii s-au dezbătut implicațiile funcționării utilajelor de la unele categorii de mari consumatori de energie în condiții de abateri de la frecvența nominală de 50 Hz, aspecte ale siguranței în funcționare a instalațiilor de alimentare cu energie electrică a unor consumatori, privite prin prisma optimizării consumului energetic, probleme legate de consumul instalațiilor de irigații pe perioada în care există precipitații atmosferice normale și pe timp de iarnă, cînd asemenea instalații nu funcționează.

Concluziile desprinse în legătură cu reducerea permanentă a pierderilor de energie electrică și termică și optimizarea consumurilor proprii tehnologice au vizat faptul că ponderea cea mai mare a rezervelor, încă insuficient folosite, rezidă în îmbunătățirea tehnologiilor de lucru, a fluxurilor tehnologice, a calității întreținerii și reparațiilor utilajelor, în ridicarea nivelului de pregătire profesională al energeticienilor, tehnicienilor și altor categorii de oameni ai muncii, care prin sarcinile profesionale sau obștești răspund de gospodărirea judicioasă a energiei și combustibililor.

Un accent deosebit s-a pus în acest sens pe îmbunătățirea informării tehnico-documentare a personalului muncitoresc și tehnico-ingineresc, pe stimularea creației tehnico-științifice de masă în sensul dirijării acesteia spre soluționarea în întreprinderi și a problemelor legate de mai buna gospodărire a combustibililor și energiei, a urmăririi în timp real a consumurilor energetice pe baza aplicării unor tehnici de vîrf pe care ni le oferă informatica și calculatoarele electronice.

Următoarea ediție a acestei consfătuiri urmează a avea loc în mai 1990.

Ing. Romulus Sfichi
IRE Suceava

PROBLEME ALE PREGĂTIRII PERSONALULUI DE EXPLOATARE LA CNE DIN STRĂINĂTATE

Luarea în considerare a factorului uman la crearea pupitrului de comandă al centralelor nuclearoelectrie

Analiza rezultatelor avariei de la CNE TMI—2 din S.U.A. a demonstrat necesitatea luării în considerare a factorului uman, la conceperea pupitrului de comandă a CNE, în două direcţii :

a — creşterea rolului şefului de turăal blocului energetic nuclear ;

b — prezentarea în faţa operatorului a unei informaţii complete.

În scopul rezolvării acestor probleme, la firma Westinghouse (S.U.A.) s-au adoptat următoarele măsuri :

— şeful de tură trebuie să dispună de lista formelor de prezentare a informaţiei ;

— introducerea unui model de luare a deciziilor de către operator ;

— prezentarea modelului funcţional al blocului energetic nuclear sub forma unui graf de evenimente ;

— elaborarea unor criterii care să fie utilizate la alegerea construcţiei pupitrului de comandă ;

— organizarea unui sistem de semnalizare de avarie ;

— forma de reprezentare a informaţiei pe display ;

— elaborarea unor principii de verificare a sistemului adoptat de prezentare a informaţiei.

Toate problemele de mai sus sînt dezbătute în articolul publicat de Easter James R. în publicaţia „*Nuclear Engineering International*" 1987, 32, nr. 394.

(După : „Referativnîi jurnal" 22, Energhetika, vol. general nr. 11/1986, poz. 11 U 249)

Influenţa factorului uman asupra securităţii reactoarelor BWR în Japonia

În articoul publicat de Iamada Kodzi ş.a. în publicaţia *Nuclear engineering*, 1987, 33, nr. 8, se analizează unele probleme ale cercetării influenţei factorului uman asupra securităţii reactoarelor nucleare de tip BWR, pe baza metodei de evaluare probabilistică a securităţii. Pentru rezolvarea problemei, în Japonia s-a elaborat un program de cercetare, în cadrul căruia colaborează şase firme electroenergetice şi opt servicii de proiectare ale firmelor Toshiba şi Hitachi. În cadrul programului de cercetare s-au stabilit trei obiective :

a — crearea unei baze de date care presupune crearea unor modele care să imite procesele tranzitorii şi de avarii la centralele nuclearoelectrice ;

b — evaluarea siguranţei timpului de acţionare a operatorului ;

c — evaluarea siguranţei umane, prin care se subînţelege prevenirea operatorului asupra diferitelor greşeli.

În scopul realizării bazei de date, în 1971 a fost creat un centru de antrenament pentru reactoare nucleare de tip BWR, care dispune de un simulator cu o putere de 800 MW şi de un alt simulator, cu un pupitru de comandă perfecţionat, cu o putere de 1100 MW.

Programul de şcolarizare a operatorilor include un curs de bază, un curs reluat (repetat) şi un curs de pregătire a şefilor de tură. Asupra evaluării timpului de acţionare au o influenţă atît faptul că memoria de scurtă durată este redusă, cît şi limitele modelelor utilizate. Pentru aprecierea siguranţei umane se foloseşte arborele de acţiuni ale operatorului, rezultatele analizei cantitative obţinute pe acest arbore servind pentru trageresa concluziilor.

După : „Referativîi jurnal" 22, Energhetika, vol. general nr. 11, 1987, poz. 11 U 319)

Sisteme de inteligenţă artificială în ajutorul operatorilor la centrale nuclearoelectrice

În Japonia se elaborează numeroase sisteme de inteligenţă artificială în sprijinul operatorilor blocurilor centralelor nuclearoelectrice, pe baza experienţei şi a consecinţelor avariilor de la CNE TMI—2 (S.U.A.) şi Cernobîl (U.R.S.S.).

Un astfel de sistem de ajutor al activităţii operatorului la apariţia situaţiilor anormale şi în cazul abaterii regimurilor de funcţionare de la instrucţiunile de exploatare a fost creat în Japonia, de firma Toshiba.

Baza sistemului o constituie o bancă de cunoştinţe de tip EXPERT. La abateri sau în situaţii de anomalie, sistemul identifică defecţiunea sau abaterea şi dă recomandări pentru înlăturarea lor. Sistemul poate da şi informaţii privind experienţa acumulată anterior, asupra modului în care trebuie acţionat în situaţii similare.

Firma Toshiba elaborează, de asemenea, un sistem integrat inteligent, de sprijin al operatorilor, care posedă calităţile inteligenţei artificiale. Scopul urmărit este scăderea cerinţelor faţă de nivelul de pregătire a operatorilor şi micşorarea rolului în conducerea şi exploatarea echipamentelor centralelor nuclearoelectrice. Se utilizează experienţa acumulată la exploatarea sistemului informaţional PODIA. Se acordă o atenţie deosebită factorului uman şi optimizării interfeţei om — sistem de ajutor.

Aceeaşi firmă a creat un sistem tip EXPERT de diagnosticare a echipamentului din subsistemul apei de alimentare, inclusiv dispozitivele de comandă ale acestuia, pentru centralele nuclearoelectrice cu BWR. În structura sistemului intră superminicalculatoare TOSBAC 8050, două display-uri color, instalate pe pupitrul operatorului, o instalaţie de generare a sistemului EXPERT (TDES 2) cu display, care are proprietăţile unei inteligenţe artificiale.

Diagnosticarea se realizează pe baza informaţiei curente cu atragerea informaţiei conţinute în baza de cunoştinţe EXPERT, păstrată în memoria calculatorului electronic. Sistemul funcţionează în regim de dialog. Informaţia oferită operatorului este prezentată grafic pe display sub forma unor scheme tehnologice, texte explicative şi recomandări privind eliminarea anomaliilor.

Firma Hitachi a elaborat un sistem inteligent de comandă, pentru operatorii centralelor nuclearoelectrice, care ia decizii, combinînd rezultatele modelării numerice cu informaţia preluată de procesorul central.

În S.U.A. se elaborează sisteme inteligente pe baza unui număr de 35 programe de cercetare. În institutul IDAHO (S.U.A.) s-a creat un sistem de evaluare a securităţii reactorului nuclear (REACTOR SAFTY ASSESSMENT SYSTEM), un alt sistem de filtrări ale semnalelor de avarie (ALARM FILTERING SYSTEM).

În R.F.G., firma KWU prevede, pentru reactoarele PWR tip CONVOY, pentru blocuri de 1300 MWe, în afara mijloacelor tradiţionale de conducere automată, un sistem complex de informaţii şi de calcul, denumit PRINS, cu utilizarea largă a display-urilor grafice. Au fost stabiliţi trei indicatori generalizaţi, caracteristici pentru securitatea CNE : 1 — starea subcritică ; 2 — răcirea de protecţie nucleară ; 3 — limitarea degajărilor radioactive, cu detalierea videogramelor (de exemplu, pentru indicatorul 3, starea radiaţiilor în încăpere şi în alte puncte de control).

(După „Referativnîi jurnal" 22 Energhetika, vol. general nr. 10/1987, poz. 10 U 255, 261, 262, 263, 264, 265)

ARDEREA ÎN STRAT FLUIDIZAT O TEHNOLOGIE DE MARE PERSPECTIVĂ

Experiența de reconstrucție a cazanelor de abur cu trecere la arderea combustibililor în strat fluidizat în Canada

În articolul publicat de Gendrean și Raymond în revista *Energy Management Conference*, Toronto, 20—30, apr. 1987, Montreal, sînt făcute unele considerații interesante cu privire la tema enunțată în titlu, pe care le redăm mai jos.

Astfel, la alegerea cazanelor capabile de a fi reconstruite, cu trecerea lor la arderea combustibilului în strat fluidizat, factorii determinanți sînt: prezența unei platforme pentru amplasarea stratului fluidizat și posibilitatea construirii instalațiilor auxiliare, necesare servirii focarului în strat fluidizat.

Cele mai nimerite cazane pentru echiparea cu strat fluidizat staționar sînt cele proiectate pentru arderea cărbunilor în strat. La trecerea cazanelor cu arderea în praf a cărbunilor la cea în strat fluidizat staționar dimensiunea focarului în plan se poate mări aproape de două ori.

Cazanele proiectate pe gaze și păcură sînt mai ușor de reconstruit pentru arderea cărbunilor în strat fluidizat circulant.

Ventilatoarele de aer și instalațiile auxiliare acestora trebuie înlocuite în cazul trecerii la arderea în strat fluidizat, deoarece crește presiunea pînă la 150 — 180 KPa.

Electrofiltrele existente, proiectate pentru reținerea cenușii cărbunilor sulfuroși, trebuie de asemenea modernizate sau înlocuite, deoarece dimensionarea lor este insuficientă pentru reținerea cenușii caracteristice focarelor în strat fluidizat, prin majorarea rezistenței sale electrice.

În articol sînt publicate scheme și descrieri ale cazanelor CTE French Island (D = 18,9 kg/s), Black Dog (108 kg/s), Heskett (88 kg/s) care se reconstruiesc pentru trecerea la arderea în strat fluidizat staționar, precum și deservirea unui cazan pentru arderea deșeurilor industriale (D = 19,5 kg/s) de la o centrală nuclearoelectrică din Boston — S.U.A.

(După: „Referativnii jurnal" 22 Energhetika, vol. general nr. 11 1987, poz. 11 R 50)

Reconstruirea unui cazan pentru funcționarea în strat fluidizat, în Berlinul Apusean

La CTE Moabit, construită în 1899, s-a trecut la reconstruirea unui cazan din cele trei montate în anii '50, și anume la cel al blocului nr. 1. Acest bloc, reconstruit recent, a fost trecut la regim de termoficare și asigură o putere electrică de 100 ÷ 200 MW. Cu această ocazie, vechiul cazan de praf de cărbune a fost înlocuit cu un cazan echipat cu un focar pentru arderea cărbunelui brun în strat fluidizat circulant.

Indicatorii principali ai noului cazan sînt următorii:
— D = 90,7 kg/s;
— presiunea aburului — 196 bar;
— temperatura — 540/540°C.

Funcționarea cazanului la parametrii alunecători permite să se regleze sarcina blocului în diapazonul de 40 ÷ 100%.

Manevrabilitatea cazanului este de minimum 5 MW/s la început și apoi 5 MW în 9 s. Se presupune că arderea cărbunelui brun în strat fluidizat și epurarea gazelor arse în electrofiltre va asigura o concentrație de componente nocive în emanațiile gazoase de cel mult:
— SO_2 — 200 mg/m³;
— NO_x — 200 mg/m³;
— particule în suspensie — 20 mg/m³.

(După „Referativnii jurnal" 22 Energhetika, vol. general nr. 11/1987, poz. 11 R 49)

Rezultatele cercetărilor de ardere a ligniților în strat fluidizat în instalații experimentale „EMO" în R.S.F. Iugoslavia

În R.F.S.I. se desfășoară arderea experimentală a diferitelor tipuri de cărbune în cîteva cazane cu focar în strat fluidizat cu putere de la 0,5 la 7 MW.

Principalul tip de cărbune în R.S.F.I. este lignitul cu un conținut de apă pînă la 60%, conținutul mediu de cenușă fiind de 10 ÷ 20%. Capacitatea calorifică este de 5÷9 MJ/kg, iar temperatura de topire a cenușii — de 850—950°C.

Lignitii cu umiditate mai mare de 50% se ard ușor în strat fluidizat, probleme deosebite punînd doar funcționarea alimentatoarelor de cărbune. S-a stabilit că bucățile mai mari de lignit (35 ÷ 40 mm), indiferent de dimensiunea lor inițială, își micșorează această mărime în stratul fluidizat la 300 ÷ 400 microni. Rezultatele experimentelor de laborator și ale celor din instalațiile semiindustriale au fost utilizate la proiectarea unor cazane industriale cu strat fluidizat pentru instalații de uscare.

În prezent, în R.S.F.I., funcționează cu succes un număr de 36 instalații în strat fluidizat cu capacități între 1—4,5 MW. În aprilie 1986 a fost pornit primul cazan industrial cu focar în strat fluidizat de 4,3 MW.

(După „Referativnii jurnal" 22 Energhetika, vol. general nr. 11/1987, poz. 11 R 20 și 11 R 21)

СОДЕРЖАНИЕ

НАПРАВЛЕНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ

МАНФРЕД ШТАЙН, АНКА ВЫЛЧЕРЯНУ, ШТЕФАН ДИАКОНУ: Способ анализа систем с переменной структурой, с точки зрения надежности работы 337—341

РАЗВИТИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

ТРАЯН МАУНА: О некоторых аспектах размещения АЭС на внутренних реках 342—345

ГЕОРГЕ КЫРЦИНЭ, ВИРДЖИЛЮ АЛЕКСАНДРЕСКУ: Использование статистических моделей в оптимизации рабочих режимов электроэнергетической системы 346—350

УПРАВЛЕНИЕ И АВТОМАТИКА ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

ГЕОРГЕ МОРАИТЕ, МАРИНА БОТГРОС: Аспекты поведения генераторных блоков капсюльного типа в переходных режимах 351—355

ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

МИХАЙ ПОП, СОРИН ПРЕССЕЛ: Некоторые соображения по поводу комплексного использования битуминосных сланцев, разрабатываемых в зоне Анины 356—360

АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

АДРИАН РУСУ, АНКА РУСУ: Общее описание АЭС типа PHWR-CANDU, со специальными ссылками на CANDU-700 АЭС ЧЕРНОВОДЭ 361—369

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ

ЭУДЖЕН НЕНИЦЭ, ОВИДИУ АПОСТОЛ, ГЕОРГЕ ТОАДЕР: Метод, алгоритмы и программы проектирования с помощью ЭВМ прокладки кабелей электростанции 370—373

ТЕХНОЛОГИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ

ИОАН И. ИОНИЦЭ: Вопрос семантики: ,,теплотворная способность'' или ,,теплота сгорания'' 374—375

НОВОСТИ

ИЗОБРЕТЕНИЯ-НОВАТОРСТВА 376—378

ХРОНИКА 379

ИЗ МИРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ 369, 380—381

INHALT

ENTWICKLUNGSRICHTUNGEN IN DER ENERGIEWIRTSCHAFT

MANFRED STEIN, ANCA VÂLCEREANU, ŞTEFAN DIACONU: Verfahren zur Analyse aus dem Gesichtspunkt der Zuverlässigkeit von Systemen variabler Struktur 337—341

DIE ENTWICKLUNG DER VERBUNDNETZE

TRAIAN MAUNA: Einige Aspekte zur Ortsfrage der Kernkraftwerke auf den Innengewässern 342—345

GHEORGHE CÂRŢINĂ, VIRGILIU ALEXANDRESCU: Die Anwendung der statistischen Modelle zur Optimierung der Betriebsregime des Verbundnetzes 346—350

DIE LEITUNGUND REGELUNGSTECHNIK DER VERBUNDNETZE

GEORGE MORAITE, MARINA BOTGROS: Über das Verhalten der Rohr-Wasser-Turbosätze in transitorischen Regimen 351—355

WÄRMEKRAFTWERKE

MIHAI POP, SORIN PRESSEL: Betrachtungen zur komplexen Auswertung der Ölschiefer aus der Anina-Gegend 356—360

KERNKRAFTWERKE

ADRIAN RUSU, ANCA RUSU: Allgemeine Beschreibung eines Kernkraftwerkes vom Typ PHWR-CANDU mit besonderer Bezugnahme auf CANDU-700 MWe 361—369

ELEKTRISCHE NETZE

EUGEN NENIŢĂ, OVIDIU APOSTOL, GHEORGHE TOADER: Verfahren, Algorythmus und Programme zur Computer-unterstützten Planung der Kabelverlegung in einem Wärmekraftwerk 370—373

TERMINOLOGIE IN DER ENERGIEWIRTSCHAFT

IOAN I. IONIŢĂ: Eine Frage der Semantik: Wärmeleistung oder Heizwert 374—375

NEUIGKEITEN

ERFINDUNGEN-NEUERUNGEN 376—378

CHRONIK:

ROMULUS SFICHI: Die 8. Tagung ,,Die Einsparung und rationelle Anwendung der Brennstoffe und der Energie. Die Auswertung der örtlichen Energiequellen'', Suceava, Mai, 1988 379

DIE ENERGIEWIRTSCHAFT WELTWEIT 369, 380—381

SOMMAIRE

ORIENTATION DES POLITIQUES ÉNERGÉTIQUES

MANFRED STEIN, ANCA VÂLCEREANU, ŞTEFAN DIACONU: Procédé pour l'analyse du point de vue de la fiabilité des certains systèmes á structure variable 337—341

DÉVELOPPEMENT DES RÉSEAUX D'ÉNERGIE

TRAIAN MAUNA: Quelques aspects sur l'emplacement des centrales nucléaires sur les rivières intérieures 342—345

GHEORGHE CÂRŢINĂ, VIRGILIU ALEXANDRESCU: L'utilisation des modèles statistiques de fonctionnement du réseau électrique interconnecté 346—350

CONDUITE ET AUTOMATION DES RÉSEAUX D'ÉNERG

GEORGE MORAITE, MARINA BOTGROS: Aspects du comportement des groupes généreteurs bulbe en régime transistoires 351—355

CENTRALES THERMIQUES

MIHAI POP, SORIN PRESSEL: Quelques considérations sur la valorisation complexe des schistes bitumineux de la région Anina 356—360

CENTRALES NUCLÉAIRES

ADRIAN RUSU, ANCA RUSU: Présentation générale d'une centrale nucléaire de type PHWR-CANDU, avec références spéciales concernant CANDU 700, CNE Cernavoda 361—369

RÉSEAUX ET POSTES ÉLECTRIQUES

EUGEN NENIŢĂ, OVIDIU APOSTOL, GHEORGHE TOADER: Méthode, algorithmes et programmes pour le projet assisté de la pose des câbles d'une centrale thermique 370—373

TERMINOLOGIE ÉNERGÉTIQUE

IOAN I. IONIŢĂ: Un problème de sémantique: puissance calorifique ou chaleur de combustion 374—375

NOUVEAUTÉS

INVENTIONS-INNOVATIONS 376—378

CHRONIQUE:

ROMULUS SFICHI: La VII-ème Réunion „L'économie et l'utilisation rationnelle des combustibles et de l'énergie. Mise en valeur des sources locales d'énergie", Suceava, mai, 1988 379

L'ENERGIE DANS LE MONDE 369, 380—381

CONTENTS

TRENDS IN ENERGY POLICY

MANFRED STEIN, ANCA VÂLCEREANU, ŞTEFAN DIACONU: Method for the Analysis from the Point of View of Reliability of Some Variable Structure Systems 337—34.

ENERGY SYSTEMS DEVELOPMENT

TRAIAN MAUNA: Some Aspects Regarding Nuclear Power Plants Location on Inland Rivers 342—345

GHEORGHE CÂRŢINĂ, VIRGILIU ALEXANDRESCU: The Use of Statistical Methods for the Operation Regime Optimization of the Power System 346—350

ENERGY SYSTEMS CONTROL AND AUTOMATION

GEORGE MORAITE, MARINA BOTGROS: Aspects of "Bulb" Turbogenerator Sets Transients Behaviour 351—355

THERMAL POWER PLANTS

MIHAI POP, SORIN PRESSEL: Considerations About the Complex Revaluation of the Anina Oil Shales 356—360

NUCLEAR POWER PLANTS

ADRIAN RUSU, ANCA RUSU: General Presentation of a PHWR-CANDU Power Plant With Special Reference to CANDU-700 MWe 361—369

ELECTRIC NETWORKS

EUGEN NENIŢĂ, OVIDIU APOSTOL, GHEORGHE TOADER: Method, Algorithm and Programs for Computer Assisted Design of Cable Laying in a Thermal Power Plant 370—373

ENERGY TERMINOLOGY

IOAN I. IONIŢĂ: A Problem of Semantics: Calorific Power or Heat Value 374—375

NEWS

INVENTIONS-INNOVATIONS 376—378

CHRONICS:

ROMULUS SFICHI: The 8-th Session: "Fuel and Energy Saving and Rational Utilization. The Revaluation of Local Energy Sources", Suceava, May, 1988 379

ENERGY WORLDWIDE 369, 380—381

COLEGIUL DE REDACȚIE

Președinte, redactor responsabil: **dr. ing. Eugeniu Pavel**
Redactori responsabili adjuncți: **dr. ing. Mihai G. M. Pop, dr. ing. Gheorghe Bălan, ing. Radu Opincaru**
Secretar de redacție: **dr. ing. Teodor Popa**
Gestiune financiară: **ec. Pompiliu Silvășanu**
Orientări în energetică: **dr. ing. Mario Duma**
Energetica în unități economice: **ing. Ion Măiereanu, ing. Alexandru Florescu**
Dezvoltarea sistemelor energetice: **dr. ing. Nicolae Armencoiu, dr. ing. George Manolescu**
Conducerea și automatica SE: **dr. ing. Victor Romert, dr. ing. Jean Constantinescu**
Centrale termoelectrice: **conf. dr. ing. Costin Moțoiu, ing. Romeo Zbarcea**
Centrale hidroelectrice: **dr. ing. Gheorghe Luca**
Centrale nuclearoelectrice: **ing. Adrian Georgescu, prof. dr. ing. Nicolae Dănilă, ing. Mircea Tarța**
Rețele electrice: **ing. Dinu Voinea, ing. Nicolae Georgian**
Alimentare cu căldură: **ing. Nicolae Niculescu**
Surse și tehnologii noi: **ing. Constantin Popescu**
Tehnologii chimice în energetică. Poluare: **dr. chim. Maria Maftei**
Organizarea producției și a muncii: **ing. Miron Popescu**
Terminologia energetică: **dr. ing. Iosif Cserveny**
Istoria electrificării: **ing. Paul Cartianu**
Noutăți: **ing. Mihai Nistor, ing. Romulus Sfichi**
Centre universitare și industriale:
București: **conf. dr. ing. Alexandru Selischi**
Iași: **prof. dr. ing. Alexandru Poeată**
Timișoara: **prof. dr. ing. Viorel Negru**
Cluj-Napoca: **conf. dr. ing. Silviu Darie**

Acest număr a fost realizat cu ajutorul următorilor secretari ai grupelor de specialitate:

— **ec. Florin Popovici** — Orientări în energetică
— **ing. Anton Vlădescu** — Dezvoltarea sistemelor energetice
— **dr. ing. Marius Pomârleanu** — Conducerea și automatica sistemelor energetice
— **ing. Anton Roșu** — Centrale termoelectrice
— **ing. Călin Teodorescu** — Centrale nuclearoelectrice
— **dr. ing. Traian-G. Ioneseu** — Rețele electrice
— **fil. Roxana Marin** — Terminologia energetică

Revista „ENERGETICA" este editată și administrată de Institutul de Cercetări și Modernizări Energetice prin Oficiul de Informare Documentară pentru Energetică.
Vasile Pleșca — șef OIDE, **Ana Maria Chivu** — redactor

Revista ENERGETICA — publicație lunară, reflectă preocupările spirituale și realizările materiale în domeniul energeticii. Funcționează în conformitate cu *ROF* aprobat cu Ordinul nr. 97/1987, publicat în numărul 4/87 al revistei. Elaboratorii de lucrări propuse pentru publicare sînt rugați să consulte *„Îndrumările pentru întocmirea și prezentarea lucrărilor propuse pentru a fi publicate în revista Energetica"*, *„Ghidul pentru avizarea lucrărilor propuse pentru a fi publicate în revista Energetica"* apărute în numărul 12/86, precum și *„Planul tematic al revistei Energetica pe anii 1987—1990"* publicat în nr. 5/1987 al revistei

Instituțiile pot achita abonamentele în contul de virament nr. 30.11.8.01.01— BN R.S.R. fil. sector 3. Costul unui abonament: 144 lei anual; costul unui exemplar: 12 lei.

41 401

ANNOUNCEMENTS FOR READERS ABROAD

- **The review "Energetica" can send on request from publications abroad reports translated in one of the worldwide spoken languages**
- **The review "Energetica" proposes a publication exchange with similar reviews and in relating fields**
- **The review "Energetica" provides and publishes or introduces books on energy received at the editorial office. Reviews and presentations of books sent on this purpose to the editorial office can be published as well**
- **The review "Energetica" publishes on request from authors abroad reports of energy or other materials: technical and scientific news, inventions-innovations, information about technical and scientific symposia, etc. written in one of the woldwide spoken languages**
- **Readers from abroad can subscribe through: ROMPRESFILATELIA — sectorul import-export, P. O. Box 12—501 telex 10376 prsfir, Calea Griviței nr. 64—66, București — România.**

Redacția și administrația: București 79619, Bd. Energeticienilor nr. 8, sect. 3
Telefon: 20.67.30, 21.46.30

Tiparul: Întreprinderea Poligrafică „Informația", București
str. Brezoianu 23—25 c. 2376

LABORATORUL
DE
SISTEME ELECTROENERGETICE

L S E

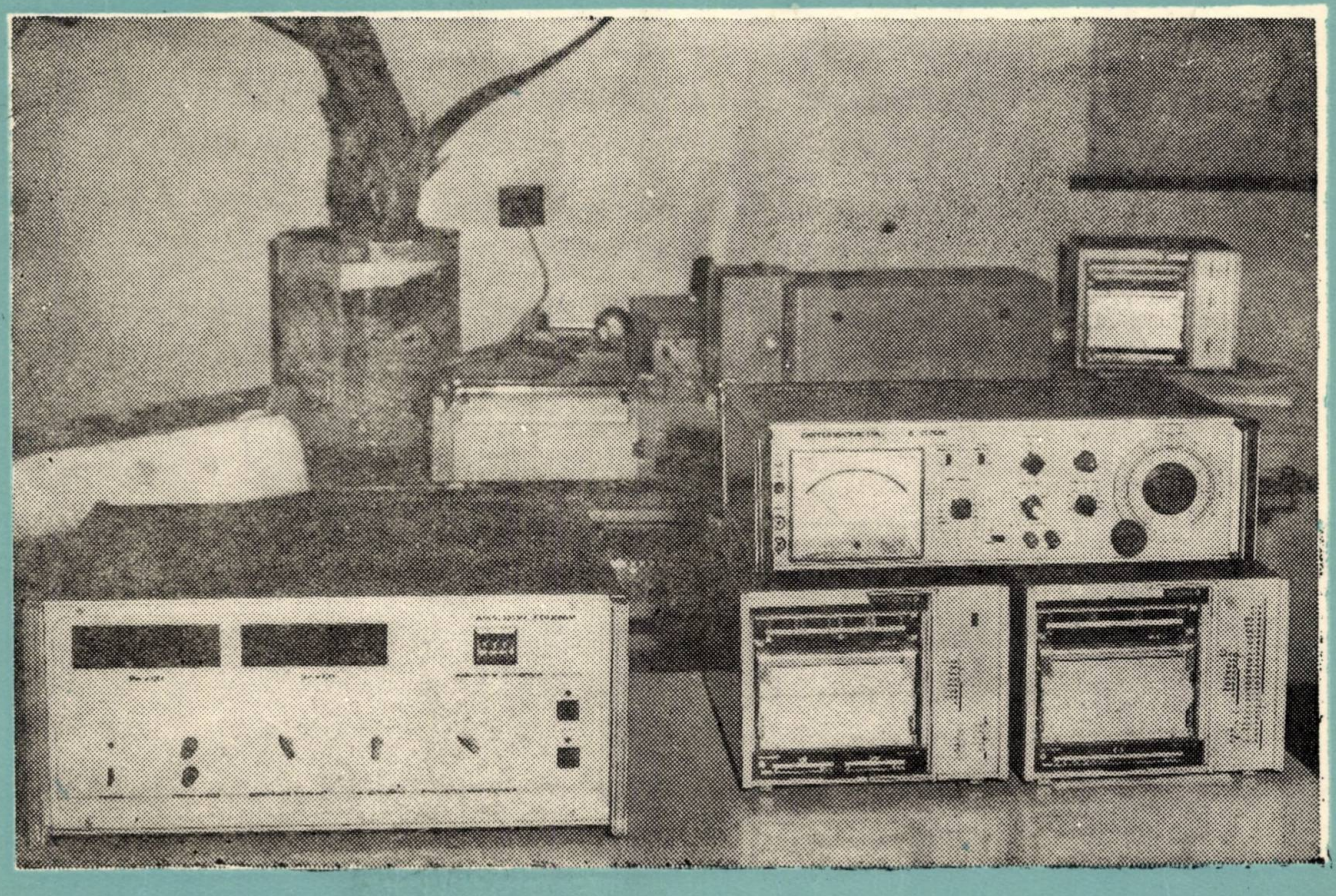
ELABOREAZA STUDII SI CERCETĂRI ÎN DOMENIUL REDUCERII CONSUMURILOR PROPRII TEHNOLOGICE IN REŢELE PRIN :

. Soluţii de structură optimă a reţelelor.
  Optimizarea nivelurilor de tensiune
. Determinarea prin măsurători directe a randamentelor LEA şi transformatoare şi autotransformatoare de IT şi FIT.
. Evidenţierea efectelor şi eliminarea dezechilibrelor în reţelele de alimentare a consumatorilor.
. Evidenţierea efectelor regimului deformant în reţelele consumatorilor de energie electrică.

INSTITUTUL DE CERCETĂRI ŞI MODERNIZĂRI ENERGETICE

ICEMENERG

Bd. ENERGETICIENILOR 8 ● SECTORUL III
79619 BUCUREŞTI ● Telefon 214630 ; 206730
Telex . ICEMENERG 10783 ● CONT: 30.11.8.01.01
BNRSR Filiala Sector III BUCUREŞTI



ENERGOREPARAȚII

B-dul Mărășești nr 2 sectorul 4. București.
Telefon 23.26.40 Telex 011635 - Cod poștal 75117

1989 AUG 1 -

EXECUTĂ PIESE ȘI SUBANSAMBLE DE SCHIMB PENTRU INSTALAȚIILE ENERGETICE :

- Turbine cu abur și turbine hidraulice
- Cazane de abur și schimbătoare de căldură
- Ventilatoare de aer și de gaze
- Instalații pentru prepararea și transportul combustibilului
- Generatoare și motoare electrice

PRODUCE MAȘINI ȘI DISPOZITIVE DE MECANIZARE, DIVERSE SUBANSAMBLE ȘI AGREGATE

- Platforme hidraulice autopurtate, pompe de evacuare a zgurii și cenușii, dispozitive de ridicat și transportat

PRESTEAZĂ SERVICII, ACORDĂ ASISTENȚĂ TEHNICĂ, EXECUTĂ RECONDIȚIONĂRI PENTRU:

- Turbine de mare putere, generatoare și motoare electrice, cuple hidraulice, armături pentru circuitul de abur, măsurarea vibrațiilor, echilibrări de arbori, analize metalografice și chimice

E 2039 ETE

MW 9

REFERÁLVA
R 1989 -06- 04

Cuprins

CONDUCEREA ŞI AUTOMATICA SISTEMULUI ENERGETIC

ADRIAN PĂSCULESCU, MIHAI SĂNDULEAC: **Transformări diserete recursive aplicate în energetică** 385

CENTRALE TERMOELECTRICE

MARIA NICOLESCU, LAZĂR LUPESCU, NICOLAE NICOLESCU: **Estimarea siguranţei în funcţionare a coturilor conductelor din centralele termoelectrice** 390

REŢELE ELECTRICE

DUMITRU IVAS: **Consideraţii privind fiabilitatea sistemelor de producţie (deservire)** 397

ADRIAN BUTA, CORNELIA IVAŞCU, LIVIU MILEA: **Efectele regimului deformant asupra instalaţiilor şi aparatelor electrice din staţiile de m.t./i.t. ale Sistemului Energetic Naţional** 400

TRAIAN-G. IONESCU, ŞERBAN COCULESCU, MARINA NEAGOE, EUGENIU PAVEL: **Regimul nesimetric generator de consumuri proprii tehnologice suplimentare în reţelele electrice** 404

HERMINA ALBERT, MANFRED STEIN, PERSIDA IANCOVICI: **Calculul siguranţei în funcţionare a instalaţiilor energetice. Evoluţie, stadiu actual, perspective** 412

ISTORIA ELECTRIFICĂRII

PAUL CARTIANU: **Europa în anul 1986 din punctul de vedere al problemelor energiei electrice** 417

NOUTĂŢI

DE LA COMITETUL NAŢIONAL CEI 396

RECENZII 416

INVENŢII — INOVAŢII 421

CRONICĂ

PERSIDA IANCOVICI: **Al IX-lea Simpozion „Siguranţa în funcţionare a instalaţiilor energetice", Iaşi, 1987** 426

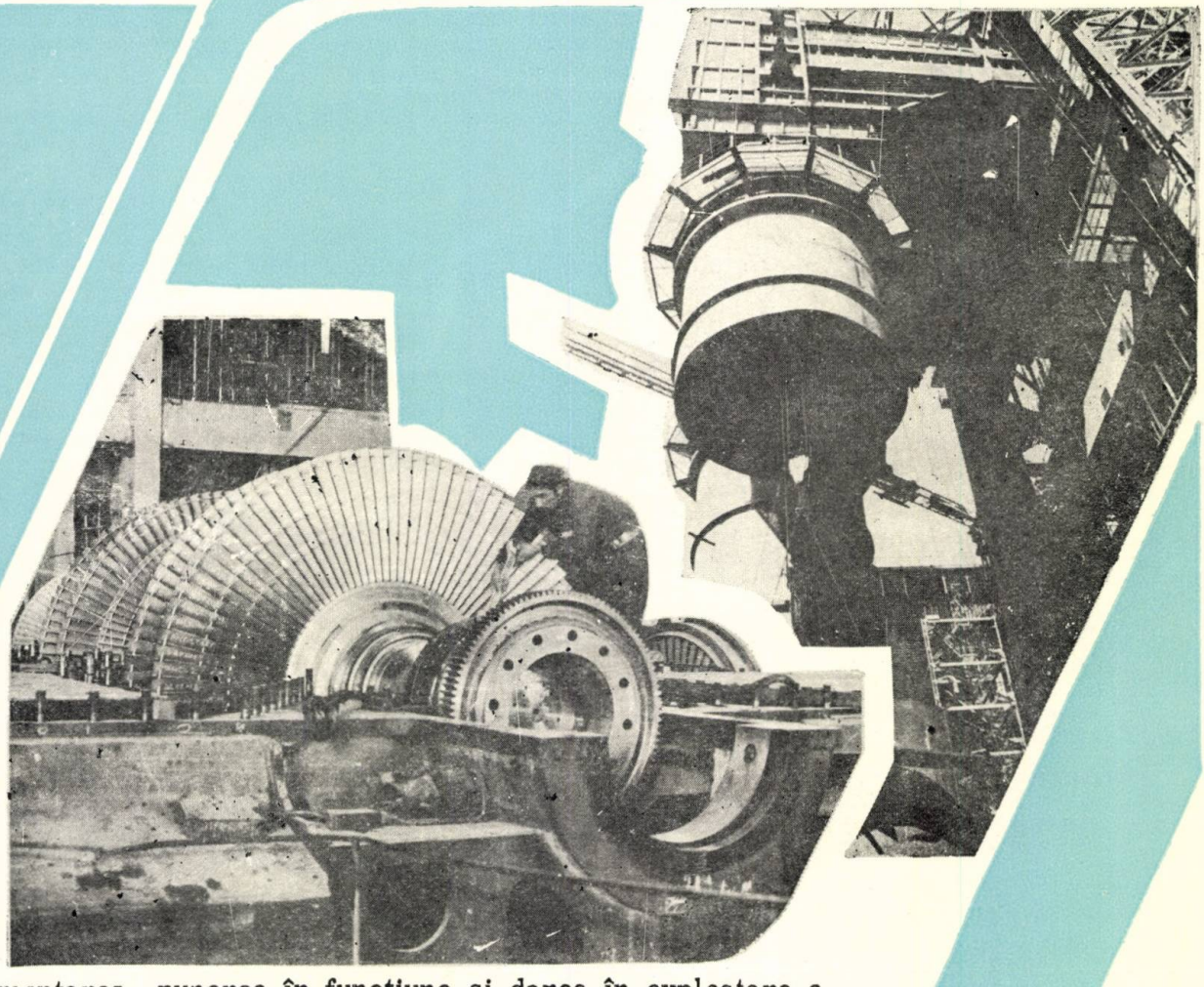
VASILE RUGINĂ: **A XII-a Conferinţă Internaţională de Energetică Industrială — Praga, 1987** 427

DIN ENERGETICA MONDIALĂ 429

energetica

VOLUMUL XXXVI
BUCUREŞTI
SEPTEMBRIE 1988

T.A.G. ENERGOMONTAJ



Execută montarea, punerea în funcţiune şi darea în exploatare a echipamentelor şi instalaţiilor energetice pentru centrale termoelectrice şi hidroelectrice

Echipamente şi instalaţii pentru centrale termoelectrice şi centrale electrice de termoficare
- cazane de abur de mare capacitate şi parametri înalţi de funcţionare
- turbine cu abur de puteri unitare pînă la 345 MW
- instalaţii de combustibil pentru cărbuni, păcură, gaze
- alte instalaţii termomecanice şi mecanice aferente centralelor termoelectrice.

Echipamente şi instalaţii pentru centrale hidroelectrice şi instalaţii hidrotehnice :
- turbine hidraulice de orice tip, pînă la puteri unitare de 176 MW, conducte forţate
- echipamente şi alte instalaţii pentru centrale hidro şi termoelectrice
- echipamente şi instalaţii pentru ecluze.

Echipamente şi instalaţii electrice pentru centrale termoelectrice şi hidroelectrice, staţii electrice şi instalaţii speciale :
- instalaţii de comutaţie primară pînă la tensiunea de 400 kV inclusiv
- instalaţii de servicii interne în centrale şi staţii electrice
- instalaţii de comutaţie secundară şi de automatizare.

Bucureşti, Calea Dorobanţi nr. 105, telefon 79.70.20, telex 11355

ENERGETICA

ORGAN AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE ŞI AL CONSILIULUI NAŢIONAL AL INGINERILOR ŞI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

SUB ÎNDRUMAREA CONSILIULUI ŞTIINŢIFIC AL INSTITUTULUI CENTRAL DE CERCETĂRI ENERGETICE

Anul 36 Nr. 9 septembrie 1988

MŰSZAKI INFORMÁCIÓS KÖNYVTÁR 1883

Conducerea şi automatica sistemului energetic

Transformări discrete recursive aplicate în energetică

Ing. ADRIAN PĂSCULESCU, ing. MIHAI SĂNDULEAC*

Descriptori: regim deformant, defectoscopie sonică transformări discrete, vectori şi valori proprii, matrice unitară, matrice în forma companion

Articolul prezintă unele aspecte şi aplicaţii ale teoriei transformatelor discrete (Fourier, Walsh-Hadamard). Aspectele sînt legate de minimizarea timpului de calcul al transformatelor în anumite cazuri speciale. Ne referim la necesitatea determinării evoluţiei în timp a transformatelor. Această problemă joacă un rol important în aplicaţii diverse, ca de exemplu: defectoscopia sonică, analiza regimurilor deformante în reţele electrice etc.

Să notăm cu X semnalul de intrare, reprezentat ca un vector de dimensiune $N \times 1$, $X = (x(0), x(1), \ldots, x(N-1))^T$ şi cu W matricea de dimensiune $N \times N$ a transformatei Fourier discrete. Dacă se obţine acum o nouă valoare a intrării: x(N) şi notăm $X' = (x(1), x(2), \ldots, x(N-1), x(N))^T$, $F = W \times X$, $F' = W \times X'$ în care F şi F' sînt transformatele vectorilor X şi respectiv X', atunci se obţine formula recursivă $F' = A \times F + W \times Dx$. În această ultimă expresie, A este o matrice diagonală de dimensiune $N \times N$, iar Dx un vector ale cărui elemente depind doar de diferenţa $x(N) - x(0)$. Această formulă este deja cunoscută pentru transformata Fourier discretă (DFT), iar o formulă similară a fost dedusă în acest articol pentru transformata Walsh-Hadamard: $F' = A \times F + H \times Dx$, unde Dx depinde numai de diferenţele $x(N) - x(0), \ldots, x(N + N/2 - 1) - x(N/2 - 1)$, iar recursivitatea se aplică din N/2 în N/2 paşi.

Datorită formei diagonale a matricii A şi unui număr mare de elemente nule în vectorul Dx s-a ajuns la concluzia că numărul de calcule necesare evaluării transformatei se reduce de la $N \times \log N$ la $N \times 2$ în favoarea transformatei Fourier recursive faţă de cea rapidă. Există şi alte avantaje: cunoaşterea evoluţiei transformatei în fiecare moment, posibilitatea urmăririi selective a unui număr restrîns de componente armonice cu reducerea proporţională a timpului de calcul, posibilitatea alegerii arbitrare a valorii N (fără restricţia de a fi o putere a lui 2). Avantaje similare au fost deduse pentru transformata Walsh-Hadamard recursivă: timpul de calcul se reduce la jumătate în acest caz.

The paper presents some aspects and applications derived from the theory of discrete transforms (Fourier, Walsh-Hadamard). These aspects are connected to the minimization of the time required to compute the transforms in some special cases. We refer to the need of determining the evolution in time of a transform. This aspect plays a great role in applications such as sonic defectoscopy, nonsinusoidal state analysis in electrical networks etc.

Suppose the $N \times N$ matrix of the discrete Fourier transform is W and the input signal is $N \times 1$ vector $X = (x(0), x(1), \ldots, x(N-1))^T$ and we get the new input x(N). If $X' = (x(1), x(2), \ldots, x(N-1), x(N))$ and $F = W \times X$ and $F' = W \times X'$ where F, F' are the transforms of X and X' respectively, then a recursive formula: $F' = A \times F + W \times Dx$ is valid. In this expression A is a $N \times N$ diagonal matrix and Dx is a vector whose elements depend only on $x(N) - x(0)$. This was a formula known for Discrete Fourier Transforms (DFT) bandt a similar formula was found for the Walsh-Hadamard Transform: $F' = A \times F + H \times Dx$ where Dx depends only on differences $x(N) - x(0), \ldots, x(N + N/2 - 1) - x(N/2 - 1)$ and the recursion applies from N/2 to N/2 steps.

Because of the diagonal form of matrix A and many zeros in vector Dx, we have concluded that the calculus complexity is reduced from $N \times \log_2 N$ to $N \times 2$ for the recursive Fourier transform versus the Fast Fourier Transform. There are other advantages like: knowing the evolution of the transform in all steps, possibility of tracing only a few harmonics with the proportional reduction of the computing time, no restrictions to N (no need to be a power of 2). Similar advantages were found for the recursive Walsh-Hadamard transform: the computing time is almost halved.

Introducere

Odată cu pătrunderea masivă a tehnicii de calcul în ştiinţă s-au dezvoltat şi tehnicile de prelucrare a semnalelor numerice. Astfel s-au pus la punct o seamă de algoritmi rapizi pentru calculul diverselor transformate (Fourier, Walsh, Haar, „slant" [1, 2]). Se preferă folosirea transformatelor deoarece acestea pun bine în evidenţă caracteristici ascunse ale semnalelor primare.

În cazul tuturor transformatelor se folosesc N eşantioane ale unui semnal de intrare pentru obţinerea a N valori transformate pe care le vom denumi global „spectru de frecvenţă".

* Ing. Adrian Păsculescu, ing. Mihai Sănduleac — Institutul de Cercetări şi Modernizări Energetice, Bucureşti

Se pune adesea problema obținerii transformatelor pe măsură ce se culeg noi eșantioane folosind un interval de timp cît mai scurt cu putință. Pentru aceasta trebuie folosită informația deja acumulată în calculele anterioare și „corectată" cu informația provenită de la datele noi achiziționate.

Transformata Fourier recursivă

Pentru transformata Fourier discretă (TFD) este cunoscută o relație de recurență care leagă transformata F' a semnalului X' de transformata F a semnalului X, unde $X = (x(0), x(1), \ldots, x(N-1))^T$ și $X' = x((1), x(2), \ldots, x(N-1), x(N))^T$, indicele T reprezentînd operația de transpunere a vectorului corespunzător (vezi [1]).

În continuare se prezintă pe scurt un alt mod de deducere a relației.

Fie W matricea de acțiune a transformatei, adică $F = W * X$, cu $W = (w_{kl})$ și $w_{kl} = \exp(-2 * pi * k * l * j/N)$ și $j^2 = -1$. Se cunoaște că transformata *TFD* este ortogonală și deci W este o matrice unitară, adică $(1/N)W * W^{Tc} = E$, unde E reprezintă matricea unitate, iar Tc operația de transpunere și conjugare complexă. Pentru calculul transformatei F' a vectorului X' ne folosim de relația $X' = P * X + Dx$, în care matricea P se obține din matricea unitate E prin permutarea coloanelor (prima în a 2-a, a 2-a în a 3-a, ... a N-a în prima), iar $Dx = (0, 0, \ldots, 0, (x(N) - x(N-1))^T$. Rezultă: $F' = W * X'$, deci $F' = W * (P * X + Dx)$, adică $F' = W * P * X + W * Dx$; dar cum $X = (1/N)W^{Tc} * F$ se obține: $F' = (1/N) * W * P * W^{Tc} * F + W * Dx$ (1.1.)

Este de remarcat faptul că matricea $A = (1/N) * W * P * W^{Tc}$ este o matrice diagonală cu $a_{kk} = \exp(2 * pi * k * j/N)$. Trebuie observat, de asemenea, că:

a — matricea P este ciclică de ordinul N, adică verifică relația $P^N = E$; ușor de demonstrat observînd că P acționează la înmulțire prin permutarea circulară a coloanelor cu o poziție la dreapta, iar repetarea operației de N ori lasă neschimbată matricea inițială;

b — valorile proprii ale matricii P sînt rădăcinile de ordinul N ale unității; dacă v este un vector propriu al lui P corespunzător valorii proprii r, atunci $P * v = r * v$ și $P * P * v = P * (r * v) = r * r * v$ și generalizînd $P^N * v = r^N * v$ și din a) rezultă $v = r^N * v$ și deci $r^N = 1$;

c) coloanele lui W sînt chiar vectorii proprii ai matricei A (sau P, deoarece A și P sînt echivalente);

d) faptul că A este diagonală este strîns legat de existența spectrului de putere invariant pe fiecare componentă la permutări circulare;

e) matricea P se găsește într-o formă companion (cu 1 deasupra diagonalei principale și cu ultima linie nenulă).

Din punctul de vedere al numărului de calcule efectuate se cunoaște că, în general, pentru variantele rapide ale algoritmilor, acesta se găsește situat în jurul valorii date de expresia $N * \log_2 N$, dacă se folosesc N eșantioane de intrare. Pentru cazul *TFD* acesta reprezintă numărul de înmulțiri complexe. Pentru varianta recursivă este nevoie de N înmulțiri datorate produsului $A * F$ (A este diagonală) și N înmulțiri datorate produsului $W * Dx$ la care se adaugă N adunări, toate complexe. Rezultă un raport $2 * N/(N * \log_2 N)$ în favoarea variantei recursive.

În afara vitezei un alt avantaj îl prezintă posibilitatea efectuării calculelor doar pentru o gamă mai restrînsă de frecvențe, ceea ce duce la consumarea unui număr de calcule chiar mai redus. Această posibilitate nu există în cazul folosirii *TFD* rapide. În concluzie se poate folosi intervalul de timp între două eșantionări pentru calculul variației spectrului de frecvență.

Pe lîngă cele de mai sus mai trebuie remarcat și faptul că numărul de calcule este același indiferent de N (nu există restricții de tipul N = putere a lui 2 etc.).

În figurile 1 și 2 sînt prezentate variațiile în timp ale componentelor a 6-a și a 5-a ale spectrului de frecvență calculat pentru $N = 32$ puncte, obținut prin aplicarea metodei re-

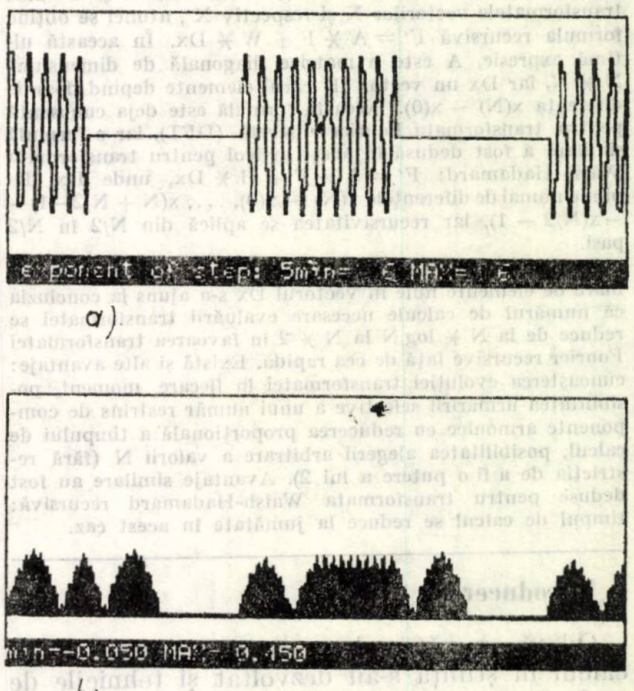
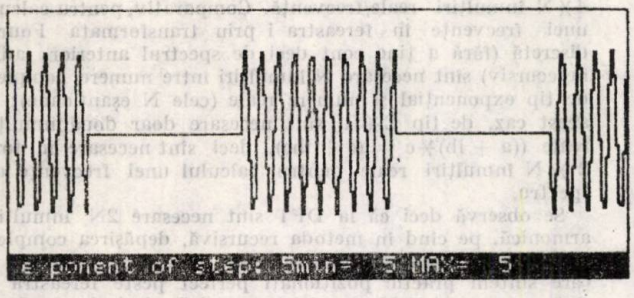
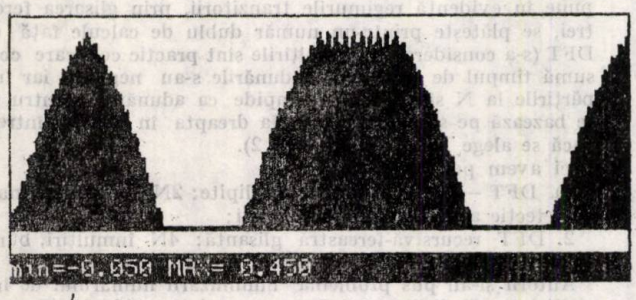


Fig. 1.a — Variația în timp a semnalului de intrare. b — Variația în timp a spectrului de putere a armonicii a 6-a a transformatei Fourier recursive pentru N = 32.

cursive asupra unui semnal cu 256 de eșantioane, semnal sinusoidal modulat cu o undă dreptunghiulară. (S-a folosit programul de analiză spectrală IQFWA realizat de autori).



a)



b)

Fig. 2.a — Variația în timp a semnalului de intrare. b — Variația spectrului de putere pentru armonica a 5-a.

Transformata Walsh-Hadamard recursivă

După cum se știe [1] în acest caz nu există un spectru de putere invariant pe fiecare componentă la permutări circulare ale datelor de intrare, dar există un asemenea spectru pentru anumite grupuri de componente spectrale. De asemenea, pentru transpoziții binare ale semnalului de intrare spectrul de putere este invariant pentru fiecare componentă. Prin transpoziție binară de ordinul b al elementului $x(k)$ se obține elementul $x(m)$ unde indicele m este rezultatul adunării bit cu bit a lui k cu b modulo 2.

Pentru deducerea formei recursive a transformatei Walsh—Hadamard discrete (THD) se va recurge la un exemplu pentru care $N = 8$.

Dintre toate transpozițiile binare se va alege aceea care împarte datele de intrare în două părți, astfel încît ordinea crescătoare a indicilor din cadrul fiecărei părți să fie păstrată. În cazul de față se notează cu D matricea corespunzătoare transpoziției binare de ordinul $b = N/2$(deci $b = 4$), care realizează trecerea de la $(x(0), \ldots, x(7)$ la $(x(4), \ldots, x(7), x(0), \ldots x(3))$. Se observă imediat că dacă $X = (x(0), \ldots x(7))^T$ și $X' = (x(4), \ldots x(11))^T$, atunci există relația $X' = D * X + Dx$, unde $Dx = (0, 0, 0, 0, x(8) - x(0), x(9) - x(1), x(10) - x(2), x(11) - x(3))$. Dacă H este matricea de acțiune a transformării Walsh—Hadamard (în forma Hadamard), atunci $F' = H * X'$, $F = H * X$ și deoarece H este reală și unitară $(H^{-1} = (1/N) * H)$, rezultă $F' = H * (D * X + Dx)$ sau

$$F' = (1/N) * H * D * H * F + H * Dx. \qquad (2.1)$$

Aceasta este relația recursivă pentru calculul spectrului de „frecvență" în cazul *THD*. Și aici se remarcă faptul că matricea $A = (1/N) * H * D * H$ este diagonală avînd primele $N/2$ elemente de pe diagonala 1, iar celelalte -1.

Se pot face observații similare cu cazul Fourier:

a) D este matrice ciclică de ordinul 2 $D * D = E$;

b) valorile proprii ale lui D sînt rădăcinile de ordinul 2 ale unității, adică $N/2$ iau valoarea 1, iar celelalte $N/2$ iau valoarea -1;

c) coloanele lui H sînt vectorii proprii ai matricei D;

d) forma diagonală a lui A este strîns legată de existența spectrului de putere invariant la transpoziții binare;

e) matricea D se găsește într-o formă companion generalizată. Adică în locul coeficienților scalari de pe ultima linie se găsesc coeficienți de formă matriceală.

Pentru analiza complexității calculelor trebuie ținut cont de forma deosebită a matricei H, adică:

$$H(8) = \frac{H(4)\,H(4)}{H(4) - H(4)}.$$

$H(8)$ reprezintă matricea Hadamard pentru $N = 8$ și atunci produsul $H(8) * Dx$ se poate scrie în forma:

$$H(8) * Dx' = \frac{H(4) * Dx'}{-H(4) * Dx'}.$$

unde $Dx' = (x(8) - x(10), x(9) - x(1), x(10) - x(2), x(11) - x(3))^T$.

Se știe că numărul de adunări necesare calculului transformatei Hadamard rapide pentru N eșantioane este dat de relația $N * \log_2 N$. Din relația 1.1., ținînd seama de faptul că matricea A este diagonală și are toate elementele nenule de forma 1 sau -1, rezultă că numărul de adunări necesare este $N + (N/2) * \log_2 (N/2)$ pentru cazul recursiv (nu s-a ținut cont de numărul de schimbări de semn). Se observă deci și mărirea vitezei de calcul cu raportul $N * \log_2 N/(N + N/2 + (N/2) * \log_2 (N/2))$. Pentru cazul $N = 2^E$ raportul devine $2 * E/(E + 2)$ și deci viteza crește de aproximativ două ori. S-au adăugat și $N/2$ adunări datorate obținerii vectorului Dx'.

Se observă avantaje similare cu cele din cazul transformatei Fourier. Totuşi, o deosebire majoră o constituie faptul că se poate obţine în plus doar spectrul de putere pentru N eşantioane din $N/2$ în $N/2$ eşantioane.

Se poate merge mai adînc cu recursivitatea aplicînd metoda şi pentru matricea Hadamard $H(N/2)$ etc., dar în final se poate constata că sporul de viteză se diminuează din ce în ce mai mult. Cauza principală este necesitatea obţinerii diferenţelor $x(k) - x(m)$ pentru diverşi indici k şi m la intervale din ce în ce mai dese.

Transformarea Walsh-Hadamard se efectuează într-un timp mai scurt decît transformarea Fourier discretă, deoarece nu necesită decît adunări şi scăderi. Ea este folosită adesea în cazul prelucrării unui volum mare de date (de exemplu la prelucrarea bidimensională a imaginilor termografice ale ţevilor din focarul cazanelor de abur ale termocentralelor).

APLICAŢIE

Se prezintă în continuare cîteva aspecte ale transformatei Fourier recursive care permit creşterea vitezei în condiţiile unei comportări satisfăcătoare în regim tranzitoriu.

După cum se ştie, transformata Fourier clasică, aplicată de obicei pe „ferestre" de N eşantioane care pot fi în cazul ideal „lipite" (fereastra 1 foloseşte eşantioanele $x(0)\ldots x(N-1)$, fereastra 2 foloseşte eşantioanele $x(N)\ldots x(2N-1)$ etc.), furnizează spectre exacte în cazul unor semnale periodice însă nu pune în evidenţă în mod satisfăcător regimurile tranzitorii. Astfel, un regim tranzitoriu poate fi prins prin metoda „ferestrelor lipite" în poziţii aleatoare în interiorul unei ferestre, dar ceea ce este mai important poate să fie despărţit în două ferestre alăturate, care fiind tratate independent din punctul de vedere al analizei spectrale nu pun în evidenţă în mod corect componenţa spectrală a regimului tranzitoriu. Soluţia care rezolvă această deficienţă este aceea a ferestrei glisante unde fereastra 1 conţine eşantioanele $x(0), \ldots, x(N-1)$, fereastra 2 eşantioanele $x(1), \ldots, x(N)$, fereastra 3 eşantioanele $x(2), \ldots, x(N+1)$ etc. Aplicarea transformatei Fourier asupra fiecărei ferestre în parte este neindicată, datorită volumului mare de calcule.

Metoda transformării Fourier recursivă permite calcularea spectrului ferestrei 2 pornind de la spectrul armonic al ferestrei 1, la care se aduc corecţii date de renunţarea la eşantionul $x(0)$ şi apariţia lui $x(N)$ în lista de eşantioane din noua fereastră 2. Cunoscînd frecvenţele corespunzătoare ferestrei 1, adică $f(0), \ldots, f(N-1)$, noile frecvenţe $f'(0), \ldots, f'(N-1)$ se calculează după relaţia:

$$f'(m) = \exp(a) \times \left(f(m) + \frac{x(N+1) - x(1)}{N} \right),$$

$$m = 0 \ldots N-1, \qquad (3.1)$$

unde $a = \dfrac{2 \times pi \times j \times m}{N}$.

Dacă se ţine seama de faptul că $\exp(a)$ şi $f(m)$ sînt numere complexe, iar $X(N+1)/N$ este real, sînt de efectuat pentru calcularea lui $f'(i)$ următoarele operaţii: $C \times (C + R)$, unde C = număr complex, R = număr real.

Dacă interesează doar înmulţirile (acestea sînt cele mai mari consumatoare de timp pentru calculele ce folosesc reprezentarea în virgulă fixă), avem de fapt o operaţie de tipul $C \times (C + R) = C \times C = 4$ înmulţiri reale (o înmulţire în numere complexe necesită patru înmulţiri în real $(a + ib)(c + id) = ac - bd + i(bc + ad)$; după alţi algoritmi sînt suficiente trei înmulţiri). Pentru k paşi, adică după luarea în considerare a k ferestre glisante consecutive, pentru calcularea lui $f(m)$ la pasul k, avem nevoie de k înmulţiri complexe (una pentru fiecare pas), deci $4 \times k$ înmulţiri reale/fiecare frecvenţă.

Pentru a glisa pînă la următorul set de N eşantioane din metoda ferestrelor lipite, sînt necesari N paşi recursivi, deci $4 \times N$ înmulţiri reale/frecvenţă. Comparativ, pentru calculul unei frecvenţe în fereastra i prin transformata Fourier discretă (fără a ţine cont deci de spectrul anterior, adică nerecursiv) sînt necesare N înmulţiri între numere complexe de tip exponenţial şi numere reale (cele N eşantioane); în acest caz, de tip $C \times R$, sînt necesare doar două înmulţiri reale $((a + ib) \times c = ac + ibc)$, deci sînt necesare în total $2 \times N$ înmulţiri reale pentru calculul unei frecvenţe din spectru.

Se observă deci că la DFT sînt necesare 2N înmulţiri/armonică, pe cînd în metoda recursivă, depăşirea completă a ferestrei iniţiale prin parcurgerea a N paşi, moment în care sîntem practic poziţionaţi perfect peste fereastra 2, sînt necesare $4 \times N$ înmulţiri/armonică, deci de două ori mai mult, dar se cunoaşte valoarea acelei armonici în fiecare din cele N momente ale regimului tranzitoriu. Cu alte cuvinte, proprietatea esenţială a metodei recursive de a pune în evidenţă regimurile tranzitorii, prin glisarea ferestrei, se plăteşte printr-un număr dublu de calcule faţă de DFT (s-a considerat că înmulţirile sînt practic cele care consumă timpul de calculator; adunările s-au neglijat, iar împărţirile la N sînt la fel de rapide ca adunările pentru că se bazează pe simple deplasări la dreapta în numere întregi dacă se alege N ca putere a lui 2).

Deci avem pentru:

1). DFT — ferestre consecutive lipite: 2N înmulţiri, proastă detecţie a regimurilor tranzitorii;

2. DFT recursivă-fereastră glisantă: 4N înmulţiri, bună punere în evidenţă a regimurilor tranzitorii.

Autorii şi-au pus problema minimizării numărului de înmulţiri în condiţiile unei bune puneri în evidenţă a spectrelor tranzitorii, deci a unui compromis optim între DFT cu ferestre consecutive lipite şi DFT recursive cu ferestre glisante. S-a urmărit în acest sens studierea unei metode recursive cu glisare din k în k eşantioane, adică fereasta 1 să conţină eşantioanele $x(0), \ldots, x(N-1)$, fereastra 2 să conţină eşantioanele $x(k), \ldots, x(N-1+k)$, fereastra 3 $x(2k), \ldots, x(N-1+2k)$ etc. Bineînţeles, pentru $k = 1$ aveam de-a face cu DFT recursivă de mai sus, iar pentru $k = N$ avem DFT cu ferestre consecutive lipite.

Pentru a deduce relaţia de calcul cu care se calculează armonicele în DFT recursivă, cu pasul k, se porneşte de la relaţia (3.1). Armonica $f''(i)$ se calculează funcţie de $f(i)$ şi se obţine:

$$f''(i) = \exp(a) \times \left(f'(i) + \frac{x(N+2) - x(2)}{N} \right) =$$

$$= \exp(a) \times \left(\exp(a) \times f(i) + \frac{x(N+1) - x(1)}{N} + \right.$$

$$\left. + \frac{x(N+2) - x(2)}{N} \right) = \exp(2a) \times \left(f(i) + \right.$$

$$\left. + \frac{x(N+1) - x(1)}{N} \right) + \exp(a) \times \frac{x(N+2) - x(2)}{N} \qquad (3.2)$$

Armonica $f'''(i)$ se deduce:

$$f'''(i) = \exp(a) \times \left(f''(i) + \frac{x(N+3) - x(3)}{N} \right) =$$

$$= \exp(3a) \times \left(f(i) + \frac{x(N+1) - x(1)}{N} \right) +$$

$$+ \exp(2a) \times \frac{x(N+2) - x(2)}{N} +$$

$$+ \exp(a) \times \frac{x(N+3) - x(3)}{N} \qquad (3.3)$$

În relația (3.2) apar operații de tipul C ✳ C + C ✳ R, deci 4 + 2 = 6 înmulțiri reale, iar în relația (3.3.) C ✳ C + + C ✳ R + C ✳ R, deci 4 + 2 + 2 = 8 înmulțiri reale. În cazul aplicării metodei recursive din 1 în 1, pentru obținerea lui f''(i) este nevoie de două înmulțiri C ✳ C, deci de opt înmulțiri în real, respectiv pentru f'''(i) de trei înmulțiri C ✳ C, adică 12 înmulțiri reale. Pentru k = 2 este deci nevoie doar de 6/8 ✳ 100 = 75% volum de calcul față de cazul k = 1, iar pentru k = 3 de 8/12 ✳ 100 = 66% înmulțiri față de k = 1. În cazul general al unei metode recursive cu pasul k, raportul între volumul de calcul la recursivitate cu pasul k față de cel cu pasul 1 este (k + 1)/2k. Se observă că pentru k mare, practic raportul tinde la 0,5, deci volumul de calcule se înjumătățește, tinzînd către cel specific DFT-ferestre consecutiv lipite. Astfel, dacă N = 256, pentru recursivitate cu pasul k = 8 avem DELTA = 12,5% mai multe înmulțiri decît în cazul DFT clasic, pe 256 puncte, în condițiile în care fereastra glisează din opt în opt eșantioane și este străbătută complet în 256/8 = 32 etape. Se asigură astfel o bună detecție a spectrului specific regimurilor tranzitorii, în condițiile unei viteze de calcul apropiate de cea din metoda clasică discretă (DFT), unde ferestrele de N eșantioane sînt în mod inadecvat tratate complet separat. Ca o concluzie, se dau în continuare cîteva exemple de surplus de calcul față de DFT clasică a variantei recursive cu diverși pași k:

k = 2 DELTA = 50%; k = 4 DELTA = 25%; k = 8 DELTA = 12,5%; k = 16 DELTA = 6,25% etc.

ICEMENERG, secția SAME—CCP, este preocupat de aplicarea concluziilor teoretice de mai sus. Astfel, în cursul anului 1988 colectivul urmează să pună la punct un echipament numeric cu microprocesor de analiză spectrală recursivă cu pas k variabil, cu aplicație în defectoscopie sonică și analiza zgomotelor pentru centralele electrice. Echipamentul urmează să detecteze on-line defectele mecanice în turbină, generator, în țevi etc. pe baza analizei vibrației mecanice și a zgomotelor, informații ce vor putea fi luate cu ajutorul traductoarelor piezoelectrice sau cu microfoane. Pe baza unui software adecvat, acest echipament va putea detecta din timp fisuri, regimuri mecanice nesimetrice, funcționări incorecte, putîndu-se preveni defectări ulterioare, diagnosticînd elementele defecte și indicînd momentele cele mai propice pentru reparațiile curente sau capitale.

De asemenea, metoda poate fi utilizată și în analiza recursivă a regimurilor deformante ce apar frecvent în rețelele electrice, în special în alimentarea consumatorilor moderni, cu caracteristica (U, I) neliniară.

În urma analizei cantitative și calitative a rezultatelor cu calculatorul, se pot lua măsuri rapide de atenuare a componentelor armonice din rețeaua urmărită, permițînd o reacție rapidă cauză-eliminare-cauză, prin comandarea directă cu calculatorul a unor echipamente energetice specializate (filtre de armonice).

Concluzii

Plecînd de la necesitatea folosirii informației deja acumulate la trecerea de la un eșantion de date la următorul s-a dezvoltat o metodă de deducere a unei relații recursive pentru calculul unei transformate discrete. Relația se bazează pe reprezentarea matriceală a transformării vectorului (x(0),...,x(N −1)) în vectorul (x(m), x(m + 1), ... x(N −1), x(0), ..., x(m−1)) și pe inversibilitatea transformării discrete. Prin aplicarea relațiilor s-a regăsit relația recursivă deja cunoscută în cazul transformării Fourier discrete și s-a dedus o relație recursivă pentru cazul transformării Wlash-Hadamard. Desigur că metoda poate fi aplicată și în cazul altor transformări discrete inversabile, dar matricea A corespunzătoare (vezi relația 1.1) nu va mai fi în general diagonală, ceea ce se va repercuta negativ asupra vitezei de calcul. Metoda poate fi aplicată în energetică pentru analiza regimului deformat, defectoscopie sonică etc.

Bibliografie

[1] Ahmed, N., Rao, K. *Orthogonal Transforms in Digital Signal Processing*. Springer Verlag, 1976.

[2] Douglas, E., Rao, K. *Fast Transforms*. Anglia, Academic Press, 1982.

[3] Stanomir, D., Stănăşilă, O. *Metode matematice în teoria semnalelor*. București, Editura Tehnică, 1980.

(Primit la 6 ianuarie 1988, acceptat la 7 iunie 1988)

Estimarea siguranței în funcționare a coturilor conductelor din centralele termoelectrice

Mat. MARIA NICOLESCU, ing. LAZĂR LUPESCU, ing. NICOLAE NICOLESCU *

Descriptori: centrale termoelectrice, conducte, fiabilitate

CZ: 621.311.22/23:621.3.019.3

Ruperi brutale au produs distrugeri și avarieri grave ale construcțiilor metalice, ceea ce a făcut să fie privite cu scepticism metodele clasice de proiectare.

Lucrarea prezintă o nouă metodă de calcul de dimensionare și de verificare a coturilor aferente traseelor de conducte din termocentrale.

Violent ruptures have produced grave distructions and damages of metallic constructions leading to a sceptical approach of the classical design methods.

This paper presents a new computation method for the dimensioning and testing of thermal power plants pipes bendings.

Dimensionarea țevilor și coturilor

Potrivit metodicii folosite în prezent [2, 3, 12] bazată pe calcularea tensiunilor de membrană, grosimile pereților zonelor drepte și curbe ale conductelor nu diferă mult. Din această cauză, atît zonele drepte, cît și zonele curbe ale traseelor de conducte se execută din țevi cu aceeași grosime a pereților [8].

Țevile sub presiune se dimensionează la efortul unitar echivalent mediu $\sigma_{ech,m}$ produs de presiunea interioară. Efortul unitar echivalent se determină plecînd de la teoria efortului unitar tangențial maxim; valoarea efortului unitar echivalent mediu trebuie să fie mai mică sau cel mult egală cu valoarea efortului unitar admisibil K/C_s [12].

$$\sigma_{ech,m} = \sigma_{tm} - \sigma_{rm} = \frac{p \cdot d_i}{2s \cdot Z} + \frac{p}{2} < \frac{K}{C_s}, \qquad (1)$$

în care:

σ_{tm} este efortul tangențial mediu;
σ_{rm} — efortul radial mediu;
p — presiunea interioară;
d_i — diametrul interior al conductei;
s — grosimea peretelui conductei;
Z — factor de rezistență a sudurii;
K — caracteristica de rezistență a materialului la temperatura de calcul a conductei;
C_s — coeficient de siguranță.

Din (1) rezultă grosimea de calcul a peretelui conductei, calculată pentru un efort unitar mediu:

$$s = \frac{d_i \cdot p}{\left(\frac{2 \cdot K}{C_s} - p\right) \cdot Z}. \qquad (2)$$

În realitate [8, 9] starea de solicitare a metalului din care sînt confecționate coturile diferă mult de starea de solicitare a metalului zonelor drepte.

Una din principalele cauze ale acestei diferențe de solicitare este deformarea la îndoire a secțiunii transversale a țevii, din rotundă ea trece în eliptică sau ovală sau ia o formă și mai complicată, care reprezintă o elipsă deformată, lățită la partea exterioară și comprimată la partea interioară a cotului. Raza de curbură a zonei comprimate și a zonei tensionate întinse se mărește, iar raza de curbură a zonei neutre se micșorează (fig. 1).

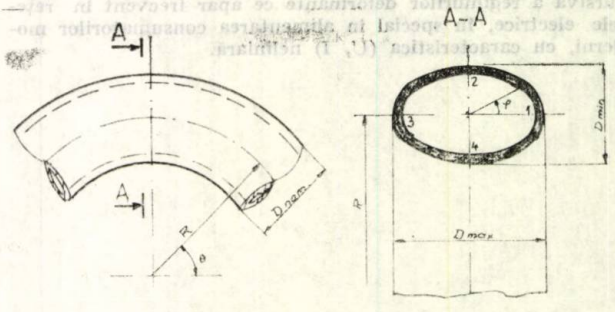


Fig. 1. Forma schematizată a cotului.

Deformarea secțiunii transversale duce la o redistribuire a tensiunilor produse de presiunea interioară pe circumferința secțiunii; pe peretele interior la partea neutră și pe peretele exterior pe partea lățită a cotului iau naștere tensiuni de întindere tangențiale suplimentare, care se suprapun peste tensiunile principale.

Începutul fisurării concentrează la rîndul său eforturile, accelerînd dezvoltarea fisurilor în cursul solicitărilor ciclice, conducînd în final la producerea avariei.

* Mat. Maria Nicolescu — Școala generală nr. 46 București, ing. Lazăr Lupescu, ing Nicolae Nicolescu — Institutul de Studii și Proiectări Energetice București.

Ținînd seama de notațiile din figura 1 se scrie relația de determinare a ovalității unei țevi (curbe) :

$$O = 2\frac{D_{max} - D_{min}}{D_{max} + D_{min}} = \frac{D_{max} - D_{min}}{D_{nom}}, \qquad (3)$$

în care :

D_{max} reprezintă diametrul exterior maxim ;

D_{min} — diametrul exterior minim ;

D_{nom} — diametrul exterior nominal.

Datorită deformării părții inferioare a secțiunii cotului (fig. 2) ovalitatea reală este aproape de două ori mai mare decît cea determinată cu relația (3) :

$$O_{ef} = \frac{a}{b}. \qquad (4)$$

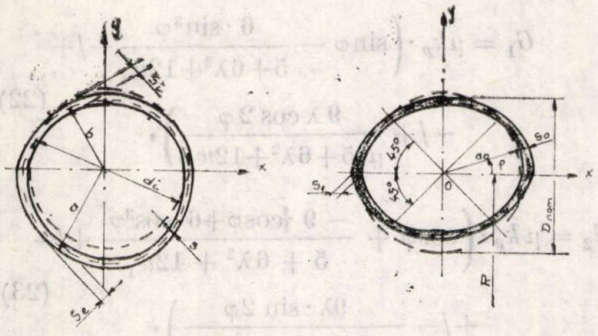


Fig. 2. Forma caracteristică a coturilor defecte.

Pentru determinarea tensiunilor maxime de încovoiere ce apar în secțiunile ovale, de formă eliptică sau neeliptică, turtite cu înclinare mică și cu îndreptări angulare, au fost date diferite soluții aproximative [8, 9].

Limitîndu-ne numai la forma secțiunii transversale se poate scrie o relație 1, care aproximează destul de exact valoarea solicitării maxime la încovoiere :

$$\sigma_{imax} = \pm\frac{3}{4} p \left(\frac{d_i}{s}\right) O \times f, \qquad (5)$$

în care :

p este presiunea internă ;

d_i — diametrul interior ;

s — grosimea peretelui ;

O — ovalitatea cotului ;

f — factor de corecție, care se determină cu relația :

$$f = + \frac{1}{1 + \frac{1-\mu^2}{2E} p \left(\frac{d_i}{s}\right)^3}, \qquad (6)$$

în care :

μ este coeficient de contracție tranversal ;

E — modul de elasticitate.

Factorul f scade odată cu apropierea secțiunii de formă circulară, cu creșterea presiunii interioare și respectiv cu mărirea raportului dintre d_i și s, conform figurii 3 [1].

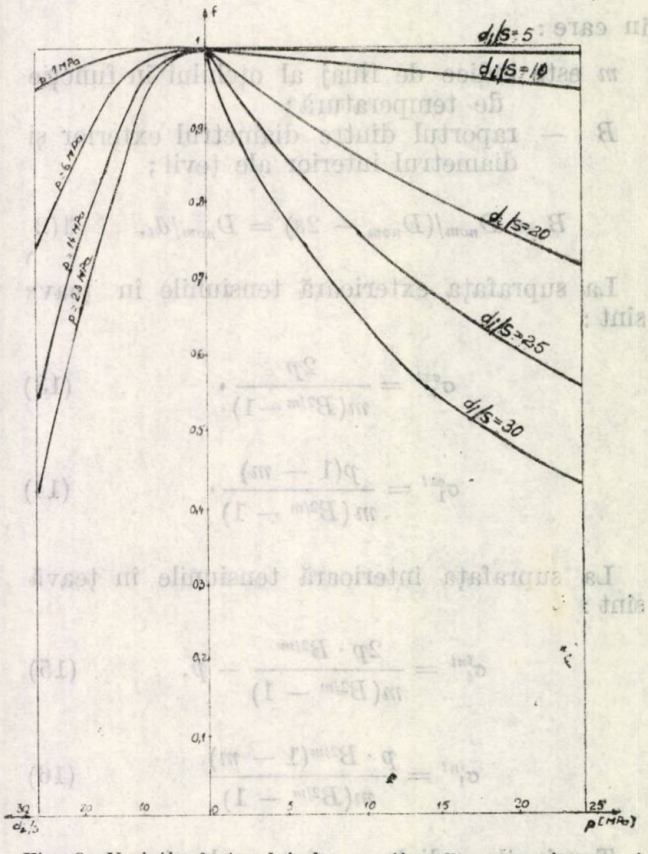


Fig. 3. Variația factorului de corecție „f" cu presiunea și cu raportul d_i/s.

Avîndu-se în vedere că datorită presiunii interioare conducta este supusă atît la încovoiere, cît și la întindere se pot suprapune aceste solicitări, deoarece apar în același loc și au aceeași direcție, rezultînd tensiunea maximă la care sînt solicitate coturile.

$$\sigma_{max} = \sigma_{red} + \sigma_{imax}, \qquad (7)$$

în care σ_{red} este tensiunea redusă ce apare într-o conductă dreaptă datorită presiunii interne și se determină cu relația :

$$\sigma_{red} = \frac{p(d_i + s)}{2s \times Z}. \qquad (8)$$

Influența fluajului asupra solicitărilor

La temperaturi înalte fluajul redistribuie tensiunile ce apar în pereții conductelor, putîndu-se scrie relațiile :

$$\sigma_t = \frac{p}{B^{2/m}-1}\left[\left(\frac{2}{m}-1\right)\left(\frac{D_{nom}}{2\rho}\right)^{2/m}+1\right], \quad (9)$$

$$\sigma_1 = \frac{p}{B^{2/m}-1}\left(\frac{1}{m}-1\right)\left(\frac{D_{nom}}{2\rho}\right), \quad (10)$$

$$\sigma_r = \frac{p}{B^{2/m}-1}\left[1-\left(\frac{D_{nom}}{R}\right)^{2/m}\right], \quad (11)$$

în care :

m este indice de fluaj al oțelului în funcție de temperatură ;

B — raportul dintre diametrul exterior și diametrul interior ale țevii ;

$$B = D_{nom}/(D_{nom} - 2s) = D_{nom}/d_i. \quad 1(2$$

La suprafața exterioară tensiunile în țeavă sînt :

$$\sigma_t^{ext} = \frac{2p}{m(B^{2/m}-1)}, \quad (13)$$

$$\sigma_1^{ext} = \frac{p(1-m)}{m(B^{2/m}-1)}. \quad (14)$$

La suprafața interioară tensiunile în țeavă sînt :

$$\sigma_t^{int} = \frac{2p\cdot B^{2/m}}{m(B^{2/m}-1)} - p, \quad (15)$$

$$\sigma_1^{int} = \frac{p\cdot B^{2/m}(1-m)}{m(B^{2/m}-1)} \quad (16)$$

Tensiunile radiale σ_r sînt aceleași pe suprafața interioară și pe suprafața exterioară, ca și în starea elastică.

Într-o țeavă cu pereți cu grosimi diferite, în care conturul secțiunii este format din două circumferințe, avînd distanța dintre centre „e", tensiunea maximă ce apare ca urmare a acțiunii presiunii interne va fi tensiunea circumferențială pe suprafața interioară în punctul cel mai subțire.

$$\sigma_t^{int} = p\,\frac{2B^2\cdot(B^2+1-2e^*-e^{*2})}{(B^2+1)(B^2-1-2e^*-e^{*2})} - p, \quad (17)$$

unde :

$$e^* = e/(0{,}5\ d_i).$$

Influența greutății și dilatării

Conform [8] tensiunile provenite din greutate și dilatare ce apar în coturile cu secțiune rotundă ale țevilor se pot determina cu relațiile :

$$\sigma_1 = \sigma_{1x}^0\cdot B_1 + \sigma_{1y}^0\cdot B_2, \quad (18)$$

$$\sigma_t = \sigma_{1x}^0\cdot G_1 + \sigma_{1y}^0\cdot G_2, \quad (19)$$

unde :

$$B_1 = k_p\cdot\left(\sin\varphi - \frac{6\cdot\sin^3\varphi}{5+6\lambda^2+12w_1} -/+ \right.$$
$$\left. -/+ \frac{9\mu\lambda^*\cos 2\varphi}{5+6\lambda^2+12w_1}\right), \quad (20)$$

$$B_2 = k_p\cdot\left(\cos\varphi + \frac{-9\cdot\cos\varphi+6\cdot\cos^3\varphi}{5+6\lambda^2+12w_1} +/- \right.$$
$$\left. +/- \frac{9\mu\lambda\cdot\sin 2\varphi}{(5+6\lambda^2+12w_1}\right), \quad (21)$$

$$G_1 = \mu k_p\cdot\left(\sin\varphi - \frac{6\cdot\sin^3\varphi}{5+6\lambda^2+12w_1} -/+ \right.$$
$$\left. -/+ \frac{9\lambda\cos 2\varphi}{\mu(5+6\lambda^2+12w_1)}\right), \quad (22)$$

$$G_2 = \mu k_p\cdot\left(\cos\varphi + \frac{-9\cdot\cos\varphi+6\cdot\cos^3\varphi}{5+6\lambda^2+12w_1} +/- \right.$$
$$\left. +/- \frac{9\lambda\cdot\sin 2\varphi}{\mu(5+6\lambda^2+12w_1)}\right), \quad (23)$$

$$w_1 = \frac{p\cdot 2(1-\mu^2)R^2}{E\cdot S\cdot r} \quad (24)$$

$$k_p = \frac{10+12\lambda^2+24w_1}{1+12\lambda^2+24w_1}, \quad (25)$$

$$\lambda = S\times R/r^2, \quad (26)$$

$$\sigma_{1x}^0 = M_x\times r/J, \quad (27)$$

$$\sigma_{1y}^0 = M_y\times r/J, \quad (28)$$

unde :

M_x este momentul care acționează în planul de încovoiere a cotului ;

M_y — momentul care acționează perpendicular pe planul de înconvoiere a cotului ;

J — momentul de inerție al secțiunii ;

μ — coeficientul lui Poisson ;

λ — coeficientul țevii.

Semnul superior din relațiile (20), (21), (22), (23) se folosește pentru suprafața interioară, iar semnul inferior pentru suprafața exterioară.

Pentru valori ale lui λ mai mari sau egale cu 0,35 relațiile sus-menționate au fost verificate practic, obținîndu-se erori de circa 5—10%.

Solicitări în coturi provocate de presiunea internă în absența fluajului, cu considerarea formei incorecte a secțiunii și cu abateri de grosime a pereților

Pornind de la aproximația secțiunii cu o elipsă, în scopul ușurării calculelor, se poate examina (avîndu-se în vedere simetria figurii) un sfert de inel eliptic (fig. 4). Fără a intra în deta-

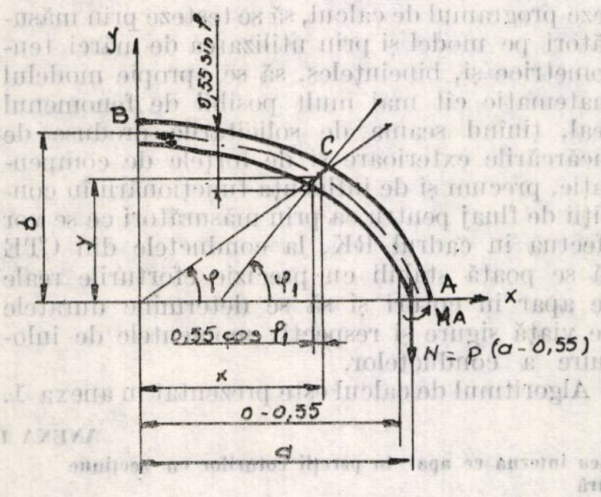


Fig. 4. Determinarea tensiunilor suplimentare ce apar într-un cot cu secțiune elipsoidală.

lierea calculului vom observa că tensiunea suplimentară de circumferință σ_t este formată din două componente care se însumează: componenta de întindere uniformă repartizată pe grosimea peretelui și componenta de încovoiere. Pe suprafața peretelui:

$$\Delta\sigma_t = \frac{N}{s} +/- 6 \cdot M/s^2. \tag{29}$$

În secțiunea A:

$$\Delta\sigma_t = \frac{p_r}{s} a_{*c}\left[0{,}5 +/- 0{,}75\frac{r}{s}(4 + a_{*c})\right]. \tag{30}$$

În secțiunea B:

$$\Delta\sigma_t = \frac{p_r}{s} a_{*c}\left[-0{,}5 -/+ 0{,}75\frac{r}{s}(4 + a_{*c})\right], \tag{31}$$

unde:

a_{*c} este ovalitatea secțiunii pe linia mediană a peretelui.

Semnul superior în relațiile (29), 30), (31) se utilizează pentru suprafața interioară, iar semnul inferior pentru suprafața exterioară.

Repartiția neuniformă a tensiunilor circumferențiale pe grosimea peretelui datorită curburii peretelui se ia în calcul prin folosirea unui factor de corecție:

—pentru suprafața exterioară:

$$\frac{r + 0{,}167 \times s}{r + 0{,}5 \times s}; \tag{32}$$

—pentru suprafața interioară:

$$\frac{r - 0{,}167 \times s}{r - 0{,}5 \times s}. \tag{33}$$

Raportul dintre ovalitatea secțiunii țevii, sub presiune și fără presiune:

$$G = \frac{a_{*c}}{a_{*0c}} = \frac{1}{1 + (1 - \mu^2)\left(4 - \frac{7}{5} a_{*c}\right) p_r^3/E_s^2} \sim$$

$$\sim \frac{1}{1 + (1 - \mu^2)(4 - a_{*c})\, p_r^3/E_s^2}, \tag{34}$$

unde:

a_{*0c} este ovalitatea secțiunii pe conturul exterior fără presiune.

Se pot face o serie de aproximări și, ținîndu-se seama de corecțiile ce trebuie făcute deformării secțiunii, de repartiția neliniară a tensiunilor pe grosimea peretelui și de curbura țevii, se pot scrie relațiile pentru tensiunile suplimentare:

$$\sigma_t^{ext} = \sigma_{ech} \cdot a_{*0} \cdot G \cdot \cos 2\varphi \left[\frac{B}{B+1} - \right.$$

$$\left. - \frac{2B+1}{B-1}\left(1 + 0{,}5\, a_{*0} \cdot G \frac{B}{B+1} \cos 2\varphi\right)\right] \cdot k, \tag{35}$$

$$\sigma_t^{int} = \sigma_{ech} \cdot a_{*0} \cdot G \cdot \cos 2\varphi \left[\frac{B}{B+1} + \right.$$

$$\left. + \frac{B(B+2)}{B-1}\left(1 + 0{,}5\, a_{*0} \cdot G \frac{B}{B+1} \cos 2\varphi\right)\right] \cdot k. \tag{36}$$

Corecția pentru curbura țevii este:

$$k = \frac{4BR_* + \sin\varphi}{4BR_* + (B+1)\sin\varphi}. \tag{37}$$

Pentru coturi cu secțiuni nerotunde tensiunea suplimentară se va suprapune peste tensiunile de bază ce apar într-o țeavă îndoită cu secțiune rotundă :

$$\sigma_t^{o\,ext} = \sigma_{ech}\left(\frac{2}{B+1}\right)^2 k, \tag{38}$$

$$\sigma_t^{o\,int} = \sigma_{ech}\frac{2(B+1)}{(B+1)^2}\cdot k, \tag{39}$$

$$\sigma_1^0 = \sigma_{ech}\frac{2}{(B+1)^2}. \tag{40}$$

Tensiunile totale în țevile eliptice aflate sub presiune interioară sînt date de relațiile :

$$\sigma_1 = \sigma_1^0 + \Delta\sigma_1, \tag{41}$$

$$\sigma_t = \sigma_t^0 + \Delta\sigma_t. \tag{42}$$

În perioada 1982—1983, în scopul asigurării fiabilității corespunzătoare coturilor conductelor ce au fost proiectate în ISPE, în cadrul Colectivului de Conducte Înaltă Presiune s-a elaborat metodologia și s-a realizat un program de calcul SAPCOND [10] de verificare a valorii tensiunilor maxime ce apar în conducte, plecînd de la măsurători reale ce se efectuau pe coturi, după execuția acestora la I. Vulcan, sau existente în CTE.

Avîndu-se în vedere că metodologia de calcul se baza numai pe măsurarea diametrelor pe două direcții perpendiculare și a grosimilor în aceste puncte, am apreciat că modelul matematic trebuie îmbunătățit, ceea ce a impus o cercetare de amănunt, care este încă în faza de testare și care va conduce la elaborarea unui program de calcul complex care să poată să asigure un grad ridicat de siguranță pentru coturile aferente conductelor din centralele termoelectrice.

În prezent, plecînd de la cercetările făcute în U.R.S.S. [8,9] s-a stabilit un algoritm pentru calculul solicitărilor provenite din presiunea internă ce acționează asupra pereților unor conducte cu secțiuni ce se abat de la forma perfect cilindrică, urmînd ca în viitor să se elaboreze programul de calcul, să se testeze prin măsurători pe model și prin utilizarea de mărci tensometrice și, bineînțeles, să se apropie modelul matematic cît mai mult posibil de fenomenul real, ținînd seama de solicitările produse de încărcările exterioare și de forțele de compensație, precum și de influența funcționării în condiții de fluaj pentru ca prin măsurători ce se vor efectua în cadrul RK, la conductele din CTE să se poată stabili cu precizie eforturile reale ce apar în coturi și să se determine duratele de viață sigure și respectiv momentele de înlocuire a conductelor.

Algoritmul de calcul este prezentat în anexa 1.

ANEXA 1

Algoritm pentru calculul solicitărilor provenite din presiunea internă ce apar în pereții coturilor cu secțiune necirculară

Se cunosc : D_n — diametrul nominal al țevii, R — raza cotului, r_1 — raza circumferinței de bază, p — presiunea de calcul, E — modul de rezistență al oțelului, n — numărul punctelor de măsură, s_i — grosimile măsurate ale peretelui conductei, z_i — formele secțiunii.

Nr. crt.	Mărimea	Notația	Relația de calcul	
1	2	3	4	
1.	Număr punct	i	—	
2.	Coordonata unghiului	φ_i	$2\pi i/n$	$i = 1, 2, \ldots, n$
3.	Abaterea de la circumferința de bază la suprafața exterioară a țevii	z_i	Pentru fiecare punct $z_i > 0$, dacă circumferința de bază se află în interiorul conturului secțiunii; $z_i < 0$, în exteriorul conturului	$i = 1, 2, \ldots, n$
4.	Grosimea peretelui	s_i	Pentru fiecare punct	$i = 1, 2, \ldots, n$
5.	Funcția	f_1	$(z_i - 0{,}5\ s_i)/s_i^3$	$i = 1, 2, \ldots, n$
6.	Funcția	f_2	$1/s_i^3$	$i = 1, 2, \ldots, n$
7.	Integrala	I_1	$\frac{4\pi}{3n}\left(\sum_{i=1}^{n} f_1 + \sum_{i=1,3,5\ldots}^{n-1} f_1\right)$	
8.	Integrala	I_2	$\frac{4\pi}{3n}\left(\sum_{i=1}^{n} f_2 + \sum_{i=1,3,5\ldots}^{n-1} f_2\right)$	
9.	Raza circumferinței momentelor nule	r	$r_1 + I_1/I_2$	
10.	Devierea liniei medii a peretelui de la circumferința razei r concentrică circumferinței de bază	w_i'	$r_1 - r + z_i - 0{,}5\ s_i$	$i = 1, 2, \ldots, n$

1	2	3	4
11.	Funcţia	f_3	$w_i' \cos \varphi_i / s_i^3$ $\quad i = 1, 2, \ldots, n$
12.	Funcţia	f_4	$\cos^2 \varphi_i / z_i^3$ $\quad i = 1, 2, \ldots, n$
13.	Funcţia	f_5	$w_i' \sin \varphi_i / s_i^3$ $\quad i = 1, 2, \ldots, n$
14.	Funcţia	f_6	$\sin^2 \varphi_i / s_i^3$ $\quad i = 1, 2, \ldots, n$
15.	Integrala	I_3	$\frac{4\pi}{3n}\left(\sum_{i=1}^{n} f_3 + \sum_{i=1,3,5\ldots}^{n-1} f_3\right)$
16.	Integrala	I_4	$\frac{4\pi}{3n}\left(\sum_{i=1}^{n} f_4 + \sum_{i=1,3,5\ldots}^{n-1} f_4\right)$
17.	Integrala	I_5	$\frac{4\pi}{3n}\left(\sum_{i=1}^{n} f_5 + \sum_{i=1,3,5\ldots}^{n-1} f_5\right)$
18.	Integrala	I_6	$\frac{4\pi}{3n}\left(\sum_{i=1}^{n} f_6 + \sum_{i=1,3,5\ldots}^{n-1} f_6\right)$
19.	Deplasarea centrului circumferinţei momentelor nule	Δx	I_3 / I_4
20.	Deplasarea centrului circumferinţei momentelor nule	Δy	I_5 / I_6
21.	Abaterea liniei medii a peretelui faţă de circumferinţa momentelor nule	w_i	$w_i' - \Delta x \cos \varphi_i - \Delta y \sin \varphi_i$ $\quad i = 1, 2, \ldots, n$
22.	Grosimea medie a peretelui	S_c	$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} s_i$
23.	Parametrul mediu al grosimii peretelui	B_c	$D_n / (D_n - 2 * S_c)$
24.	Raza relativă la curbură	R^*	R / D_n
25.	Coeficient	Y	$1 \Big/ \left[2{,}198\left(\frac{B_c - 1}{B_c + 1}\right)^2 + 0{,}00286 \frac{B_c - 1}{(B_c R^*)^2}\right]$
26.	Coeficient	G	$1 \Big/ \left[1 + 0{,}375 \; Y \frac{P}{E}\right]$
27.	Coeficient	k_i	$\frac{4B_c R^* + \sin \varphi_i}{4B_c R^* + (B_c + 1) \sin \varphi_i}$ $\quad i = 1, 2, \ldots, n$
28.	Parametrul grosimii peretelui	B_i	$(2r + s_i)/(2r - s_i)$ $\quad i = 1, 2, \ldots, n$
29.	Tensiunea longitudinală de bază	σ_{1i}^0	$\frac{p_r}{s_i} * \frac{2}{(B_i + 1)^2}$ $\quad i = 1, 2, \ldots, n$
30.	Tensiunea circumferenţială de bază pe suprafaţa exterioară	$\sigma_{ti}^{0\,ext.}$	$2\sigma_{1i}^0 * k_i$
31.	Tensiunea suplimentară circumferenţială pe suprafaţa exterioară	σ_{ti}^{ext}	$\frac{p w_i G k_i}{s_i}\left[1 - \frac{(B_i + 1)(2B_i + 1)}{B_i (B_i - 1)}\right]$ $\quad i = 1, 2, \ldots, n$
32.	Tensiunea circumferenţială totală pe suprafaţa exterioară	$\Delta\sigma_{ti}^{ext}$	$\sigma_{ti}^{o\,ext} + \Delta\sigma_{ti}^{ext}$ $\quad i = 1, 2, \ldots, n$
33.	Tensiunea longitudinală suplimentară pe suprafaţa exterioară	$\Delta\sigma_{1i}^{ext}$	$0{,}3 \cdot \Delta\sigma_{ti}^{ext}$ $\quad i = 1, 2, \ldots, n$
34.	Tensiunea longitudinală pe suprafaţa exterioară	σ_{1i}^{ext}	$\sigma_{1i}^{o} + \Delta\sigma_{1i}^{ext}$ $\quad i = 1, 2, \ldots, n$
35.	Tensiunea circumferenţială de bază pe suprafaţa interioară	$\sigma_{ti}^{o\,int}$	$0{,}5 \cdot \sigma_{ti}^{o\,ext} (B_i^2 + 1)$ $\quad i = 1, 2, \ldots, n$

Anexa 1 (continuare)

1	2	3	4
36.	Tensiunea circumferențială suplimentară pe suprafața interioară	$\Delta\sigma_{ti}^{o\,int}$	$\frac{pw_iGk_i}{s_i}\left[1+\frac{(B_i+1)(B_i+2)}{B_i-1}\right]$ $i=1, 2, \ldots, n$
37.	Tensiunea circumferențială pe suprafața interioară	σ_{ti}^{int}	$\sigma_{ti}^{o\,int}+\Delta\sigma_{ti}^{int}$ $i=1, 2, \ldots, n$
38.	Tensiunea longitudinală suplimentară pe suprafața interioară	$\Delta\sigma_{1i}^{int}$	$0{,}3\,\sigma_{ti}^{int}$ $i=1, 2, \ldots, n$
39.	Tensiunea longitudinală pe suprafața interioară	σ_{1i}^{int}	$\sigma_{1i}^{0}+\Delta\sigma_{1i}^{int}$ $i=1, 2, \ldots, n$

Bibliografie

[1] Lupescu, L. *Preîntîmpinarea avariei coturilor aferente conductelor de înaltă presiune.* București, ISPE, 1982.

[2] Nikitina, I. K. *Spravocinik po truboprovodam teplovih elektrostanții.* Moscova, Energoatomizdat, 1983.

[3] Lupescu, L. *Schadenvorbeugung bei Hochdruck — Dampfleitungs — Bogenstücken.* În: Buletinul ISPE, anul 25, nr. 4, 1982, p. 57—73.

[4] Lupescu, L. *Analyse de la durée de fonctionnement sans avaries des réseaux de tuyauteries des centrales thermiques fonctionnant aux températures élevées.* În: Buletinul ISPE, anul 19, nr. 1—2, 1976, p. 59—89.

[5] Salgian, M. Lupescu, L. *Programul de calcul „ELCOMJ".* Conferința națională a termoenergeticienilor, Brașov, 1984.

[6] Salgian, M., Lupescu, L. *Das Rechenprogramm „ELCOMJ".* În: Buletinul ISPE, anul 27, nr. 2—3, 1984, p. 29—41.

[7] Lupescu, L., Turcu, L. *Perfectionarea metodelor fiabilistice de analiză a conductelor de înaltă temperatură, care lucrează în condiții de fluaj.* În: Energetica, 25, 1977, nr. 11—12, p. 415—420.

[8] Nahalov, V. A. *Nadejnosti ghibov trub teploenergheticeskih ustanovok.* Moscova, Energoatomizdat, 1983.

[9] Kostovetkii, D. L. *Procinosti truboprovodnih sistem energheticeskih ustanovok.* Leningrad, Energhiia, 1973.

[10] Lupescu, L., Ursulescu, P. *Manual de prezentare și de utilizare a programului SAPCOND.* București, ISPE, 1982.

[11] Popa, T., Baciu, A., Laszlo, T. *Avarii în instalațiile energetice.* București, Ed. Tehnică, 1978.

[12] Leca, A., Prisecaru, I., Tănase, H. M., Lupescu, L., Raica, V. *Conducte pentru agenții termici.* Îndreptar. București, Ed. Tehnică, 1986.

(Primit la 6 ianuarie 1988, acceptat la 7 iunie 1988)

NOUTĂȚI

De la Comitetul Național CEI

STANDARD *CEI* ASUPRA ECHIPAMENTELOR DE SEMNALIZARE A ACCIDENTELOR CRITICE

Comisia Electrotehnică Internațională (CEI) va publica Norma 860 referitoare la echipamentele de determinare concomitentă a radiațiilor ionizante și de declanșare a alarmei în cazul accidentelor critice. În normă sînt specificate caracteristicile generale, caracteristicile de funcționare, caracteristicile electrice și mecanice, cele referitoare la prevederile de securitate și la mediul ambiant, precum și procedeele de probe și documentația referitoare la aceste echipamente.

Scopul principal al unui sistem de alarmă de stare critică este detectarea accidentelor de stare critică și emiterea semnalului de evacuare a personalului. El trebuie să detecteze accidentele în momentul producerii în zona pe care o supraveghează unul sau mai multe detectoare și să declanșeze semnalul de evacuare într-o durată de timp foarte scurtă, avînd în același timp o fiabilitate ridicată și o probabilitate de alarmă falsă foarte redusă.

De asemenea, norma urmărește ca prin aplicarea ei la un sistem de detectare și semnalizare a razelor gamma, a neutronilor sau a unei combinații între aceste două radiații produse în cazul unui accident critic, să limiteze probabilitatea expunerii personalului la radiații de importanță majoră.

Norma nu se aplică la aparatele de semnalizare sau înregistrare (ca de exemplu la cititoare). Ea nu se referă la echipamentele și ansamblurile utilizate în sistemele de comandă și securitate ale reactoarelor nucleare.

Considerații privind fiabilitatea sistemelor de producție (deservire)

Conf. dr. ing. DUMITRU IVAS *

Descriptori: fiabilitate, producție

CZ: 621.3.019: 621—7.002.6

Majoritatea metodelor de calcul al fiabilității sistemelor modelează comportarea elementelor acestora prin variabile logice bivalente (cu două stări: succes și refuz). Multe sisteme tehnice destinate să transporte sau să prelucreze cantități de produse (și care vor fi denumite sisteme de producție) au stările caracterizate de nivelul de producție (deservire) care se modelează prin variabile aleatoare cu domeniu de definiție continuu dat. În lucrare se încearcă definirea de indicatori de fiabilitate pentru aceste sisteme și în special stabilirea relației dintre aceștia și fiabilitatea componentelor.

Most system reliability computation methods perform their elements' behaviour by bivalent logical variables (with two states: success and refusal). The states of many technical systems meant for the transportation or processing of some products quantities are characterized by the production level modelled by aleatory variables with a continuously given definition field. The paper intends the definition of reliability indices for these systems and mainly to establish the relationship among them and the components reliability.

Introducere

Fiabilitatea ca „proprietatea de a îndeplini o funcție impusă în condiții date și într-un interval de timp dat" presupune interpretarea noțiunii de „funcție impusă" și modelarea ei.

Multe din metodele de calcul al fiabilității asociază fiecărui element sau sistem o variabilă aleatoare binară, lucru echivalent cu considerarea faptului că „funcția impusă" poate fi doar îndeplinită sau nu și deci excluzînd posibilitatea îndeplinirii parțiale sau gradate a acestei funcții.

Există însă o multitudine de sisteme tehnice destinate să producă (prelucreze, transporte etc.) cantități de produse a căror „funcție impusă" poate fi apreciată prin productivitatea la un moment dat sau prin producția corespunzătoare unui interval de timp dat, ambele putînd lua valori într-un interval de la 0 (zero) la valoarea nominală.

Fiabilitatea acestor sisteme depinde deci de fiabilitatea componentelor, de structura sistemului, dar și de fluxul de materie primă la intrare (care poate avea, de asemenea, caracter aleator), de existența unor eventuale rezervoare tampon de-a lungul fluxului tehnologic etc.

În lucrare se încearcă definirea unor indicatori de fiabilitate pentru aceste sisteme și elaborarea de modele de calcul al fiabilității acestora.

1. Definirea indicatorilor de fiabilitate ai sistemelor de producție (deservire)

Un indicator de bază al proceselor de producție (deservire) în sensul precizat anterior este productivitatea lor (cantitatea de produse care iese din proces în unitatea de timp). Lipsa de fiabilitate se poate datora:

— căderii elementelor;

— desfășurării instabile a procesului;

— lipsei intrărilor de materiale în proces.

Rezultă că fiabilitatea sistemului depinde de:

— fiabilitatea elementelor componente;

— structura sistemului;

— stocastica deservirii (înțelegînd prin aceasta, pe de o parte, fluxul de materiale de prelucrat la intrare și, pe de altă parte, factorii externi care influențează procesul tehnologic și care nu sînt cuprinși în modelul acestuia).

Se va defini sistemul prin următorii indicatori sintetici:

C_p — capacitatea de producție nominală, aptitudinea sistemului de a atinge un anumit nivel de productivitate (debit, putere etc.) în anumite condiții tehnologice — considerată ca o variabilă aleatoare;

P_r — producția reală, care este mai mică sau cel mult egală cu capacitatea de producție nominală a procesului (C_p), de asemenea considerată ca variabilă aleatoare.

Aceasta din urmă va putea fi deci caracterizată prin valoarea sa medie ($M_{[P_r]}$), prin funcția sa de repartiție sau mai reprezentativ prin funcția de repartiție complementară:

$M_{[P_r]}$ — capacitatea medie de producție sau valoarea medie probabilă a capacității de producție

$$F(P_r) = P(P_r \leq pr_x) \quad (1)$$

$$\overline{F(P_r)} = P(P_r > pr_x) \quad (2)$$

2. Modele de calcul al fiabilității sistemelor de producție (deservire)

Modelele de calcul al fiabilității sistemelor de producție trebuie să permită evidențierea urmă-

* Conf. dr. ing. Dumitru Ivas — Facultatea de Electrotehnică, Institutul Politehnic Iași.

toarelor aspecte ale fiabilității acestor categorii de sisteme :

— dependența dintre indicatorii de fiabilitate pentru sistem (în sensul definit anterior) și fiabilitatea componentelor sistemului ;

— introducerea în model a stocasticii fluxului de materie primă la intrarea în sistem ;

— introducerea în model a categoriilor de redondanță, care la aceste sisteme poate lua următoarele trei forme :

- de structură ;
- dimensională ;
- sub formă de rezervoare tampon intermediar care de fapt rezervă, în anumite condiții (de exemplu rezervorul să fie plin), toate elementele din amonte.

Dependența dintre producția reală — ca variabilă aleatoare — și fiabilitatea componentelor se poate determina relativ ușor folosind modelele bazate pe algebra bivalentă la care se asociază următoarele reguli simple : fiecărui element Ei, $i = 1(1)n$, i se atașează o mărime aleatoare $Xi(t)$ definită drept capacitatea de sarcină la momentul t.

Variabila aleatoare $Xi(t)$ este caracterizată de funcția de distribuție :

$$P(Xi(t) = x) = pi(t) \qquad (3)$$

și de funcția de repartiție :

$$F(Xi) = P(X \leqslant x);\ P(Xi > x) = \\ = 1 - F(Xi). \qquad (4)$$

Starea sistemului va fi caracterizată de o variabilă aleatoare multidimensională :

$$S(X1(t)\ X2(t) \ldots Xi(t) \ldots Xn(t)).$$

La sistemele serie fără rezervoare tampon intermediare, producția va corespunde celui mai „slab" dintre elemente.

$$S(X1(t) \ldots Xi(t) \ldots Xn(t) = \\ = \min \{X1(t) \ldots Xi(t) \ldots Xn(t)\}. \qquad (5)$$

La sistemele paralel producția elementelor se însumează :

$$S(X1(t) \ldots Xi(t) \ldots Xn(t)) = \sum_{i=1}^{i=n} Xi(t). \qquad (6)$$

Se va putea determina funcția de repartiție la un sistem serie, definită ca :

$$Fs(t) = P[SX(1(t) \ldots Xi(t) \ldots Xn(t) < z]$$

în ipoteza independenței funcționării elementelor :

$$Fs(t) = 1 - \prod_{1}^{n} (1 - Fix(t)) \qquad (7)$$

$$\overline{Fs(t)} = \prod_{i=1}^{i=n} \overline{Fix(t)}$$

Stocastica fluxului de materie primă la intrare nu depinde de sistem, dar poate fi modelată cu modelul prezentat în continuare, care se referă la relațiile dintre două trepte ale procesului tehnologic între care există un rezervor tampon de capacitate dată.

3. Modelarea proceselor tehnologice cu rezervoare tampon intermediare

Astfel de procese presupun trepte de prelucrare care se înseriază, fiecare treaptă tehnologică fiind formată din n elemente identice, caracterizate de productivitatea individuală (p) și disponibilitatea (d), care funcționează în paralel, în sens tehnologic (producția lor se însumează) și nu de fiabilitate, între trepte fiind intercalate rezervoare tampon caracterizate doar prin capacitatea lor (c) și în care produsele nu suferă prelucrări, fiind doar stocate. Un astfel de proces tehnologic va putea fi abstractizat prin următorii vectori :

— vectorul de structură (W) a cărui componentă Wi reprezintă numărul de elemente (utilaje tehnologice) din treapta $i \cdot i = 1(1)n$;

— vectorul disponibilităților (D) a cărui componentă di reprezintă disponibilitatea elementelor componente (considerate identice din acest punct de vedere) ale treptei tehnologice i :

$$i = 1(1)n ;$$

— vectorul de productivitate P a cărui componentă p_i reprezintă producția în unitatea de timp a unui element component al treptei i ;

— vectorul capacităților rezervoarelor tampon (Ci_{max}) ale cărui elemente Ci_{max} reprezintă capacitatea rezervorului tampon din amontele treptei i.

Cantitatea de produse care parcurge procesul tehnologic într-un interval de timp t reprezintă o variabilă aleatoare $Z(t)$.

O reprezentare a procesului tehnologic este dată în figura 1.

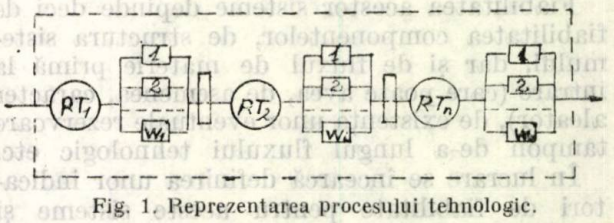


Fig. 1. Reprezentarea procesului tehnologic.

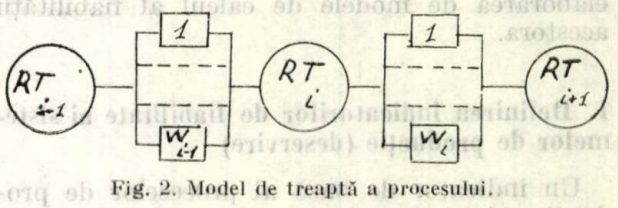


Fig. 2. Model de treaptă a procesului.

Structura serie a acestuia permite ca raționamentul pentru elaborarea modelului să poată fi efectuat pe o singură treaptă i, ca în figura 2.

Modelul de calcul al variabilei $Z(t)$ are la bază următoarele :

— treapta 0 (zero) este intrarea în proces ;

— intrarea în rezervorul tampon al treptei J este ieșirea din treapta tehnologică $J-1$ cu următoarele notații :

V_j — numărul de elemente disponibile în treapta J, variabilă aleatoare distribuită binominal cu parametrii W_j și dj ;

$C_j(t)$ — conținutul rezervorului tampon J la momentul t ;

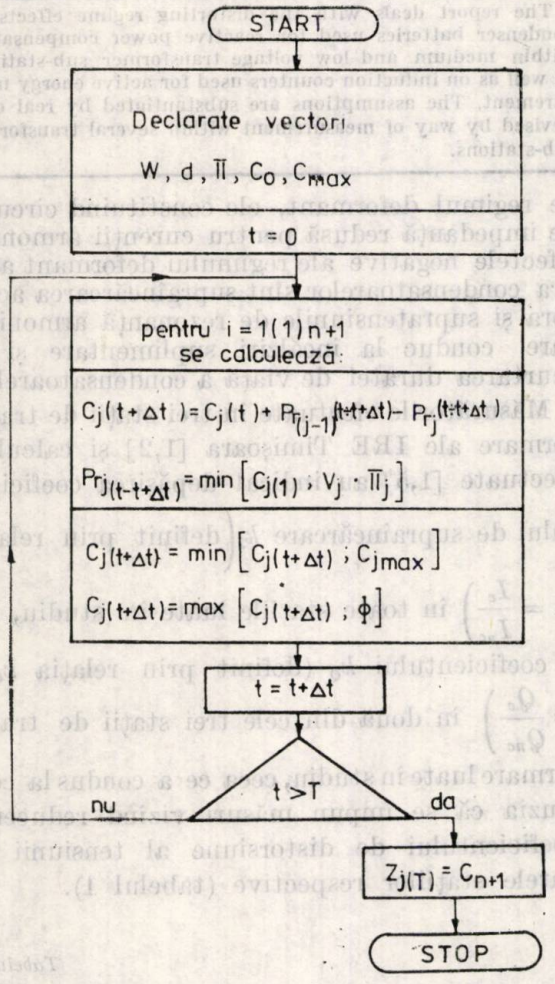


Fig. 3

$P_{rj}(t \div t + dt)$ — producția reală a treptei J în intervalul dt de după momentul dat t ca funcție de conținutul rezervorului (RT_j), numărul de elemente disponibile în treapta $J(V_j)$ și productivitatea acestora Π_t.

$$P_{rj}(t \div t+dt) = \min \cdot C_j(t) : V_j \cdot \Pi_t, \quad (8)$$

$$C_j(t + \Delta t) = C_j(t) + P_{r(j-1)}(t \div t+dt) - P_{rj}(t \div t + dt), \quad (9)$$

variabilă care nu poate fi negativă și nici nu poate depăși capacitatea rezervorului (C_{jmax}).

$$0 \leqslant C_j(t) \leqslant C_{jmax}, \quad (10)$$

restricții care pot fi introduse mai comod în calcule prin următoarele relații :

$$C_j(t) = \min (C_j(t) : C_{jmax}), \quad (11)$$

$$C_j(t) = \max (0 : C_j(t)). \quad (12)$$

Analizînd evoluția în timp a procesului de producție rezultă că o tratare globală pornind de la valori medii este nerealistă, deoarece interdependența dintre trepte este unidirecțională și orice perioadă cînd rezervorul tampon din amonte este gol scoate din funcțiune o treaptă chiar dacă elementele ei sînt integre (vezi relația 9).

Structura proceselor tehnologice de acest tip se va putea efectua numai pas cu pas în timp, modelul fiind un proces cu timp direct.

Algoritmul de calcul pornind de la notațiile anterioare va fi cel din figura 3 ; relațiile fiind între variabilele aleatoare definite anterior pot fi transformate în relații între funcțiile lor de repartiție.

Concluzii

În lucrare se încearcă definirea unor indicatori de fiabilitate pentru sistemele de producție (deservire) și se propune, la nivel de algoritm general, un model de calcul al acestor indicatori. Particularizarea modelului la un sistem real poate duce la simplificarea lui.

Bibliografie

[1] Nitu, V. I. *Fiabilitatea instalațiilor energetice*. Editura Academiei R.S.R., 1973.

[2] Ivas, D. *Considerații asupra relațiilor folosite pentru determinarea indicatorilor economici ai continuității în alimentarea cu energie electrică*. În: Energetica, nr. 7, 1972, p. 284–287.

(Primit la 24 noiembrie 1987, acceptat la 18 decembrie 1987)

Efectele regimului deformant asupra instalațiilor și aparatelor electrice din stațiile de m.t./î.t. ale Sistemului Energetic Național

Ș.l. dr. ing. ADRIAN BUTA, ș.l. dr. ing. CORNELIA IVAȘCU, ing. LIVIU MILEA*

Descriptori: sisteme electroenergetice, regim deformant

C.Z. 621.311.11 :621.3.016.25

În lucrare se analizează efectele regimului deformant asupra bateriilor de condensatoare prevăzute în stațiile de transformare de î.t./m.t. folosite pentru compensarea puterii reactive și asupra contoarelor de inducție folosite pentru măsurarea energiei active. Afirmațiile sînt exemplificate cu date reale obținute prin măsurători în cîteva stații de transformare.

The report deals with the distorting regime effects on condenser batteries used for reactive power compensation within medium and low voltage transformer sub-stations, as well as on induction counters used for active energy measurement. The assumptions are substantiated by real data devised by way of measurement within several transformer sub-stations.

Introducere

În actuala dezvoltare a tehnicii, cînd sînt tot mai numeroși consumatorii electroenergofagi, ca de exemplu, tracțiunea electrică, electrometalurgia sau electrotermia, aceștia constituind și factori puternic deformanți, se impune elucidarea aspectelor particulare pe care le implică regimul deformant în funcționarea unor instalații sau aparate electrice.

În lucrarea de față autorii și-au propus să răspundă la cîteva probleme privind efectele regimului deformant asupra instalațiilor electrice (cu referire la bateriile de condensatoare prevăzute în stațiile de transformare de m.t./î.t. pentru compensarea puterii reactive) și asupra aparatelor electrice (cu referire la contorul de inducție monofazat pentru măsurarea energiei active). Afirmațiile sînt exemplificate cu date reale obținute în cîteva stații de transformare ale IRE Timișoara în care autorii au făcut măsurători [1, 2].

1. Funcționarea bateriilor de condensatoare în regim deformant

Dimensionarea bateriilor de condensatoare prevăzute pentru compensarea puterii reactive se face în general considerînd regimul permanent, sinusoidal și simetric. Practica însă a arătat, mai ales în ultimul timp, că regimul de funcționare al sistemelor electroenergetice prezintă un grad de deformare care nu poate fi neglijat, iar în literatură încep să apară referiri la efectele negative, nedorite, ale acestuia asupra funcționării unor instalații [1, 3, 4, 5, 8].

Dintre toate elementele unei instalații electrice, condensatoarele sînt cel mai mult afectate de regimul deformant, ele constituind circuite de impedanță redusă pentru curenții armonici. Efectele negative ale regimului deformant asupra condensatoarelor sînt supraîncărcarea acestora și supratensiunile de rezonanță armonică, care conduc la încălziri suplimentare și la scurtarea duratei de viață a condensatoarelor.

Măsurătorile efectuate în trei stații de transformare ale IRE Timișoara [1,2] și calculele efectuate [1,5] au indicat depășirea coeficientului de supraîncărcare k_I (definit prin relația $k_I = \frac{I_c}{I_{nc}}$) în toate stațiile luate în studiu, iar a coeficientului k_Q (definit prin relația $k_Q = \frac{Q_c}{Q_{nc}}$) în două din cele trei stații de transformare luate în studiu, ceea ce a condus la concluzia că se impun măsuri vizînd reducerea coeficientului de distorsiune al tensiunii pe barele stațiilor respective (tabelul 1).

Tabelul 1

Valorile coeficienților de supraîncărcare a condensatoarelor obținuți experimental

Coeficientul de supraîncărcare / Stația	k_I^{RD}	k_U^{RD}	k_Q^{RD}	Observații
Stația A	2,323	0,4683	1,088	$k_I > 1{,}3$; $k_U < 1{,}1$; $k_Q < 1{,}43$
Stația B	1,6909	0,9714	1,6426	$k_I > 1{,}3$; $k_U < 1{,}1$; $k_Q > 1{,}43$
Stația C	2,678	0,9841	2,035	$k_I > 1{,}3$; $k_U < 1{,}1$; $k_Q > 1{,}43$

* Ș.l. dr. ing. Adrian Buta, ș.l. dr. ing. Cornelia Ivașcu — Facultatea de Electrotehnică, Institutul Politehnic „Traian Vuia" Timișoara, ing. Liviu Milea — IRE Timișoara.

Din punctul de vedere al supratensiunilor de rezonanță armonică, în literatură [9] se indică acest pericol numai la armonici de rang superior, $\nu > 13$, iar măsurătorile efectuate [1, 2] au arătat că nu totdeauna armonicile de rang superior sînt de amplitudine neglijabilă, ceea ce implică considerarea în calculul de dimensionare a bateriilor de condensatoare a regimului deformant, real, cunoscut prin măsurători.

Măsurătorile efectuate în cele trei stații de transformare ale IRE Timișoara au condus la rezultatele sistematizate în tabelele 2 și 3.

Tabelul 2

Nivelul armonicilor în tensiunea pe bare (cu întreaga baterie de condensatoare conectată)

Rangul armonicii	Valori limită admise [%] [9] / stația	Valori măsurate în stație [%] A	B	C
2	0,6	3,660	2,880	2,800
3	1	3,512	4,550	5,090
4	0,6	1,360	1,245	0,952
9	1	0,920	2,340	1,160
11	1,5	1,650	0,790	2,900
13	1,5	0,568	0,300	1,190
17	1	1,330	0,680	1,920
18	0,6	0,294	0,174	1,785
21	1	0,570	0,410	1,570
24	0,6	0,380	0,360	1,980

Tabelul 3

Solicitarea condensatoarelor la rezonanță

Mărimea / Stația	S_{sc} pe barele de m.t. [MVA]	Q_c [Mvar]	ν_r	Pericol de apariție a rezonanței pentru armonicile
A	312,01	9,6	5,70	$\nu \geq 6$
B	281,24	7	6,34	$\nu \geq 7$
C	206,35	4,5	6,77	$\nu \geq 7$

Concluzia desprinsă din calculul frecvenței de rezonanță, în stațiile luate în studiu, este urmare a faptului că în toate aceste stații coeficienții de distorsiune ai tensiunii pe barele stației au rezultat mai mari decît valorile admise. Astfel, în timp ce normativul [9] admite ca valori limită superioare pentru coeficientul de distorsiune la nivelul de 1 — 35 kV valoarea $\delta = 4\%$, măsurătorile au evidențiat (6,6 — 9,3) % în stația A, (6,03—7,75) % în stația B și (5,90—8,65) % în stația C, limita inferioară referindu-se la măsurători în regim fără conectarea bateriei de condensatoare existentă în stație pentru compensarea puterii reactive, în timp ce limita superioară reprezintă rezultatul măsurătorilor cu întreaga baterie de condensatoare conectată (compensare 100%).

2. Contorizarea energiei în regim deformant

În literatură [6] se arată că un contor de inducție funcționînd în regim deformant măsoară de fapt energia cu o eroare ce poate fi stabilită pe baza teoriei exacte a acestuia, astfel:

$$\varepsilon = \frac{k_2}{k_1^2 - k_2} \sum_{\nu=1}^{n} [1 - \nu^2] \frac{P_\nu}{P}, \qquad (1)$$

unde k_1, k_2 sînt constante ce pot fi determinate cunoscîndu-se dimensiunile geometrice ale circuitelor magnetice și respectiv ale discului contorului de inducție, iar P_ν este puterea activă corespunzătoare armonicii ν. Din analiza acestei relații rezultă că mărimea erorii depinde de valoarea raportului k_1/k_2, de ponderea puterii armonicii ν în puterea totală, adică de P_ν/P și de spectrul undei de tensiune și curent, de prezența unor armonici de tensiune și curent semnificative pe armonicile superioare.

Avîndu-se în vedere tipul contorului folosit T—2CA 32 (STAS 4198—79) și relațiile de calcul indicate în literatură [7] s-a calculat coeficientul $\frac{k_2}{k_1 - k_2}$, obținîndu-se valoarea 2,702, iar cu acesta coeficientul de eroare al puterii armonicii ν, adică $\frac{k_2}{k_1 - k_2}(1 - \nu^2)$, obținîndu-se curba *a* din figura 1. Alături s-au trasat și curbele erorii maxime (curba *b*) și celei minime (curba *c*) stabilite experimental în literatură [3]. Se constată că creșterea erorii cu rangul armonicii este foarte pronunțată mai ales în cazul curbei *a* (teoretică).

Acest lucru se datorează neglijării în calcul a influenței frecvenței asupra gradului de saturație a circuitului magnetic al contorului pentru frecvențe superioare, influență existentă în realitate, deci în rezultatele experimentale.

După cum se arată și în literatură [3] cu referire la curbele *b* și *c*, contoarele de inducție funcționează cu erori suplimentare la creșterea frecvenței peste cea nominală; aceste valori sînt sensibil influențate de valoarea factorului de putere, fiind mai mici la factori de putere mai mari și capacitivi. Ca urmare, ar rezulta că în regim deformant contorul de inducție ar putea avea erori importante dacă, firește, puterile pe armonici ar fi semnificative. Totuși pentru consumatorii obișnuiți, alimentați din sta-

ţiile de î.t./m.t., este de aşteptat (aşa cum de altfel se afirmă şi în literatură [3]) ca erorile suplimentare de măsură introduse de regimul deformant să nu depăşească 0,5—1,25%.

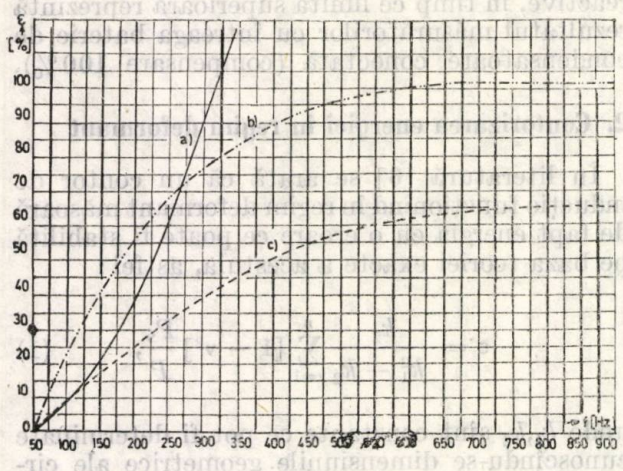


Fig. 1. Variaţia curbei de erori cu frecvenţa armonicii: a — teoretică; b — maximă [3]; c — minimă [3].

În sprijinul celor afirmate mai sus, în tabelul 4 s-a considerat calculul erorilor contorului de inducţie situat pe o plecare de m.t. a staţiei A, folosind valorile erorilor pe armonici corespunzătoare curbelor *a,b,c* din figura 1.

Cu valorile din tabelul 1 s-au calculat erorile totale de măsură, obţinîndu-se:

$$\varepsilon^a[\%] = \frac{\Sigma P'_\nu - \Sigma P_\nu}{\Sigma P_\nu} \cdot 100 = -0{,}851;$$

$$\varepsilon^b[\%] = \frac{\Sigma P''_\nu - \Sigma P_\nu}{\Sigma P_\nu} \cdot 100 = -0{,}825; \qquad (2)$$

$$\varepsilon^c[\%] = \frac{\Sigma P'''_\nu - \Sigma P_\nu}{\Sigma P_\nu} \cdot 100 = -0{,}693.$$

Se poate constata că erorile obţinute au valori foarte apropiate, negative şi reduse şi aceasta datorită faptului că puterile transmise pe armonici, mai ales pe cele superioare, sînt foarte mici comparativ cu fundamentala.

Efectuînd aceleaşi calcule şi pentru cîteva plecări de m.t. din staţiile B şi C au rezultat erori de măsură ce nu au depăşit 1%.

O analiză amănunţită a valorilor erorilor de măsură ale contoarelor de inducţie utilizate pe plecările de m.t. ale staţiilor de transformare, efectuate de autori [1], a situat eroarea de măsură a contorului la frecvenţă nominală, dar în regim nedeformant, după cum rezultă din figura 2. Aceste rezultate sînt în concordanţă cu cele afirmate în literatura de specialitate.

În sprijinul acestor concluzii, folosind curbele erorilor datorate armonicilor pentru un contor de clasă 2, [8], s-au apreciat, pe baza rezultatelor

Tabelul 4

Calculul erorilor la măsurarea energiilor (puterilor active) în regim deformat

Armonica ν	P_ν [u.r]	$\left(1-\frac{\varepsilon^a}{100}\right)P_\nu$	$\left(1-\frac{\varepsilon^b}{100}\right)P_\nu$	$\left(1-\frac{\varepsilon^c}{100}\right)P_\nu$
1	156,766	156,766	156,766	156,766
2	0,145	0,135	0,1102	0,129
3	0,527	0,411	0,3162	0,421
4	0,019	0,0115	0,008265	0,01416
5	0,088	0,0325	0,0264	0,0616
6	0,0195	0,000156	0,000468	0,001347
7	0,0255	−0,00663	0,00255	0,014025
8	0,00659	−0,00428	0,00079	0,003296
9	0,0724	−0,07964	0,005792	0,03258
10	0,000341	−0,000545	0,00001876	0,0001466
11	−0,00264	−0,007826	−0,000132	−0,001056
12	−0,00014	−0,000392	0,000	0,000055
13	0,00672	−0,0229	0	0,002486
14	0,000275	−0,001133	0	0,000099
15	0,000499	−0,002435	0	0,000177
16	0,00107	−0,0061	0	0,0003745
17	0,00195	−0,0127	0	0,000663
18	0,0000685	−0,000514	0	0,0000233
19	0,00239	−0,0202	0	0,0008126
20	−0,00566	−0,0536	0	−0,0019244
21	0,00372	−0,03928	0	0,0012648
22	0,001076	−0,0126	0	0,000366
23	0,0000588	−0,00756	0	0,0002
24	0,000143	−0,00202	0	0,0000486
25	0,001596	−0,00245	0	0,000543

$\Sigma P_\nu = 158{,}546$; $\Sigma P_\nu = 157{,}196$; $\Sigma P_\nu = 157{,}236$; $\Sigma P_\nu = 157{,}447$

măsurătorilor efectuate în cele trei staţii, valorile erorilor de măsură ale contoarelor de inducţie din staţie, în regim deformant, rezultatele fiind sistematizate în tabelul 5.

Erorile de măsură ale contoarelor datorate armonicilor — *Tabelul 5*

Stația		$\nu = 3$			$\nu = 5$			$\nu = 7$		
		U_3/U_1 %	I_3/I_1 %	ε_3 %	U_5/U_1 %	I_5/I_1 %	ε_5 %	U_7/U_1 %	I_7/I_1 %	ε_7 %
A	FC*	5,094	2,49	0,37	1,316	0,46	0,05	1,56	0,597	0,07
	CC**	5,14	2,794	0,38	0,526	0,408	0	3,36	2,83	0,20
B	FC	2,12	5,10	0,38	1,98	0,84	0,1	0,52	3,97	0,28
	CC	4,55	3,18	0,25	2,70	7,72	0,68	0,905	2,10	0,15
C	FC	7,05	2,29	0,51	1,81	2,80	0,1	1,85	4,37	0,25
	CC	3,52	8,12	0,70	1,34	3,32	0,15	0,684	2,37	0,20

* FC — fără compensare; ** CC — cu compensare 100% (intreaga baterie din stația conectată).

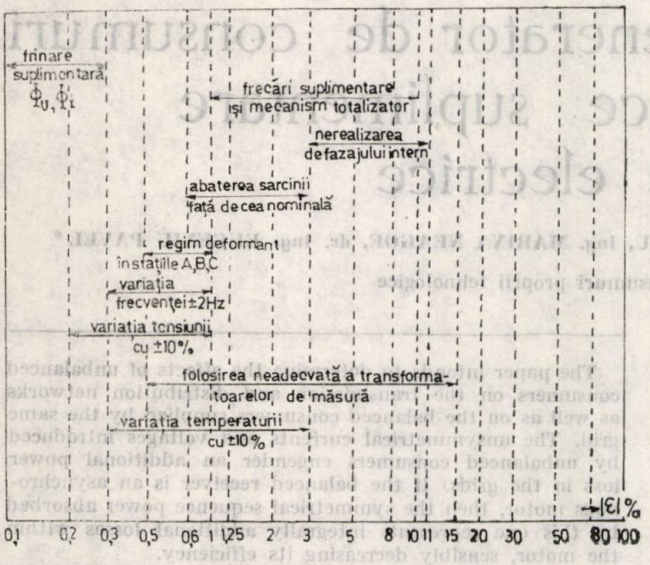


Fig. 2. Incadrarea valorică a erorilor suplimentare la măsurarea energiei active cu ajutorul controlului de inducție.

Din analiza celor prezentate rezultă că erorile de măsură a energiei în regimul deformant analizat nu depășesc 1% și sînt negative. Ca ordin de mărime în valoare absolută aceste erori pot fi comparabile cu cele datorate abaterii frecvenței la regim sinusoidal în limite de $\pm$ 2 Hz sau la variația tensiunii cu $\pm$ 10%.

Nu se poate stabili o corelație matematică exactă care să indice modul în care eroarea se modifică odată cu gradul de distorsiune și nici cu factorul de putere al consumatorilor.

De precizat că, avînd în vedere că în [8] curbele reprezintă erorile de măsură ale contorului datorate armonicilor pentru cazul conținutului de armonici în tensiunea rețelei egal cu conținutul de armonici în curent pentru cos φ ca parametru, iar în măsurători autorii lucrării au obținut valori diferite privind conținutul armonicilor în tensiune, respectiv în curent, valorile din tabelul 5 au fost stabilite în felul următor: într-un anumit regim (FC sau CC) din stația luată în studiu, s-a considerat valoarea maximă dintre raporturile U_ν/U_1 respectiv I_ν/I_1 pentru care din curbele prezentate în [8] s-au citit erorile. Evident că în felul acesta erorile rezultate sînt ceva mai mari decît în realitate, deci valorile erorilor prezentate sînt acoperitoare.

Concluzii

Efectele regimului deformant din sistemul electroenergetic influențează negativ funcționarea condensatoarelor montate în stație în scopul compensării puterii reactive, în sensul suprasolicitării acestora.

Contorizarea energiei electrice în regim deformant se face eronat, funcție de gradul de deformare a tensiunii și curentului. Se impune, deci, cunoașterea gradului de deformare, în vederea adoptării unor măsuri de reducere a acestuia și implicit a efectelor sale negative asupra funcționării instalațiilor și aparatelor electrice. Identificarea regimului deformant se face prin măsurători de tensiuni și curenți în puncte caracteristice din sistem și prelucrarea rezultatelor obținute prin descompunere în serie Fourier. Avînd în vedere dispersia rezultatelor măsurătorilor efectuate în aceleași condiții, cu același aparataj, dar la momente diferite (caracterul consumatorului complex echivalent racordat la sistemul electroenergetic modificîndu-se în timp) se impune necesitatea efectuării mai multor măsurători și prelucrarea statistică a rezultatelor.

În vederea unei măsurări corecte a energiei electrice este indicat ca reglarea contorului să fie efectuată direct în regimul deformant în care trebuie să funcționeze contorul ,prin comparație cu unul etalon neafectat de regimul deformant (contor electronic, termic, electrolitic).

În ceea ce privește măsurarea energiei reactive, rămîn valabile concluziile cu privire la erorile introduse de regimul deformant la măsurarea energiei active.

Bibliografie

[1] Ivașcu, C., Buta, A. *Influența compensării puterii reactive asupra contorizării energiilor activă și reactivă în stațiile de transformare ale IEIRIEDEET Timișoara*, Contract de cercetare științifică, IPTV Timișoara, 1986, beneficiar IRE Timișoara.

[2] Ivaşcu, C., Buta, A., Milea, L. *Identificarea pe cale experimentală a regimului deformant în cîteva staţii de transformare în it/mt ale IEIRIEDEET Timişoara.* Conferinţa de Energetică, 27—29 nov. 1986, Bucureşti, pg. 8. 146—8.157.

[3] Millea, A. *Asupra măsurării energiei active în regim deformant.* În: Metrologia aplicată, Bucureşti, fascic. 3, martie 1983, pag. 102—107.

[4] Iordănescu, I. *Regimul deformant în noduri fără consumatori deformanţi. Condiţii de evitare a efectelor asupra instalaţiilor.* În: Lucrările sesiunii ştiinţifice, Institutul Politehnic Iaşi, 16—17 mai, 1986, vol. XIV, pag. 29—40.

[5] Buta, A., Ivaşcu, C. Milea, L. *Aspecte particulare ale regimului deformant al staţiilor de medie tensiune.* Lucrările celei de a VII-a sesiuni de comunicări tehnico-ştiinţifice IRE Suceava, 1987.

[6] Antoniu, I. S. *Funcţionarea contoarelor de inducţie într-un regim deformant.* În: Buletinul Institutului Politehnic Bucureşti, T XVIII, fasc. 3—4, iul.-dec. 1956, pag. 263—277.

[7] Goriunov, P. N. *Contoare electrice* (traducere din limba rusă). Editura Energetică de Stat, Bucureşti, 1954.

[8] Ţugulea, A., Golovanov, C. *Efectele energetice ale regimurilor deformante şi nesimetrice. Posibilităţi de măsurare,* Lucrările Conferinţei de Energetică, 27—29 nov. 1986, Bucureşti, pag. 8 004—8 036.

[9] M.E.E. *Normativ privind limitarea regimului deformant.* PE 143/80, ICEMENERG, Bucureşti, 1980.

(Primit la 17 august 1987, acceptat la 22 februarie 1988)

Regimul nesimetric generator de consumuri proprii tehnologice suplimentare în reţelele electrice

Dr. ing. TRAIAN-G. IONESCU, ing. ŞERBAN COCULESCU, ing. MARINA NEAGOE, dr. ing. EUGENIU PAVEL *

Descriptori: sisteme electroenergetice, regimuri nesimetrice, consumuri proprii tehnologice

Lucrarea îşi propune să determine efectele consumatorilor dezechilibraţi asupra reţelelor electrice de transport şi distribuţie, precum şi asupra celorlalţi consumatori care sînt simetrici, alimentaţi din aceeaşi reţea. Nesimetria curenţilor şi tensiunilor introduse de consumatorii dezechilibraţi are ca efect producerea unui consum propriu tehnologic suplimentar în reţelele electrice ale sistemului electroenergetic. Dacă receptorul echilibrat este un motor asincron, atunci puterea de nesimetrie absorbită de acesta reprezintă integral pierderi suplimentare în motor, scăzîndu-i sensibil randamentul.

Problemele abordate au fost studiate atît teoretic, cît şi experimental, prin efectuarea de măsurători la trei mari consumatori industriali cu regim de funcţionare nesimetric.

În urma măsurătorilor efectuate a rezultat un coeficient de pierderi suplimentare de 0,3%. Dacă o asemenea valoare s-ar generaliza la ansamblul sistemului energetic, ar rezulta un consum propriu tehnologic suplimentar în reţelele electrice de circa 150 GWh/an.

Aceasta ar justifica economic luarea de măsuri de simetrizare ce s-ar impune consumatorilor dezechilibraţi.

Lucrarea se încheie cu recomandarea de a se elabora noi reglementări corespunzătoare prin care consumatorii dezechilibraţi să fie obligaţi să ia măsuri de simetrizare a schemelor şi a regimurilor lor de funcţionare, precum şi tarifări penalizatoare ale consumurilor energiei componentelor de secvenţe nesimetrice.

The paper intends to determine the effects of unbalanced consumers on the transmission and distribution networks as well as on the balanced consumers supplied by the same grid. The unsymmetrical currents and voltages introduced by unbalanced consumers engender an additional power loss in the grids. If the balanced receiver is an asynchronous motor, then the symmetrical sequence power absorbed by this one represents integrally additional losses within the motor, sensibly decreasing its efficiency.

These problems have been approached theoretically as well as experimentally by carrying out measurements at three large industrial consumers with unsymmetrical operating regime.

If the additional losses coefficient of 0.3% resulted from the measurements was to be considered and generalized for the entire power grid, additional power losses in the networks of about 150 GWh/year would result.

This would be an economic justification for taking some symmetrization measures to be imposed to the unbalanced consumers.

The paper finally recommends the elaboration of suitable regulations which should oblige unbalanced consumers to balance their diagrams and operation regimes, as well as the payment of penalties for providing unsymmetrical sequence power.

Consideraţii generale

Calitatea energiei electrice este o componentă esenţială a sistemelor electroenergetice, care vizează atît furnizorul, cît şi consumatorul.

Furnizorul de energie electrică se preocupă ca reţelele de transport şi distribuţie să funcţioneze la anumiţi parametri de calitate, ca de exemplu : nivelul de tensiune cu abaterile admisibile, valoarea frecvenţei cu limitele de variaţie admisibile în diferite regimuri de funcţionare, continuitatea alimentării cu energie electrică a consumatorilor etc.

Consumatorul de energie electrică, la rîndul său, este interesat să aibă o calitate corespunzătoare a energiei electrice, dar, în acelaşi timp, este implicat în menţinerea acestei calităţi prin felul şi tipul de receptoare cu care este dotat şi prin exploatarea judicioasă a acestora.

Principalele influenţe negative produse de receptoarele consumatorilor se referă la producerea de armonici de curent şi de tensiune, precum şi

* Dr. ing. Traian-G. Ionescu, ing. Şerban Coculescu, ing. Marina Neagoe — Institutul de Cercetări şi Modernizări Energetice, dr. ing. Eugeniu Pavel — Institutul Central de Cercetări Energetice, Bucureşti

la funcționarea în regimuri nesimetrice, dezechilibrate.

De cîțiva ani, se asistă la proliferarea unor noi tipuri de aparate electrice și electronice, care, pe de o parte, sînt sensibile la deformațiile formei de undă și la nesimetria tensiunilor, iar, pe de altă parte, sînt ele însele generatoare de perturbații, deformații și regimuri dezechilibrate. Efectele consumatorilor deformanți sau/și dezechilibrați asupra rețelelor electrice de transport și distribuție, precum și asupra celorlalți consumatori care sînt echilibrați, alimentați din aceeași rețea, nu au fost examinate din punct de vedere energetic.

Regimul deformant și cel nesimetric din rețelele electrice trifazate au fost tratate în literatura de specialitate fără a se scoate în evidență influența negativă, de exemplu, asupra consumului propriu tehnologic din rețele, sau asupra celorlalți consumatori echilibrați. În ultimul timp în țara noastră au apărut preocupări privind aspectul energetic al influenței negative a regimului deformant și a celui nesimetric [1, 13].

Limitele admisibile ale regimului dezechilibrat au fost reglementate la noi în țară prin normativele în vigoare, prin care se impune ca nesimetria curenților să nu depășească 20%, înțelegîndu-se prin aceasta că valoarea curentului de pe o fază nu trebuie să depășească cu mai mult de 20% valoarea curentului de pe faza cu sarcină mijlocie. Definiția nesimetriei dată de normele în vigoare este incompletă deoarece nu se face nici o mențiune asupra dezechilibrului de unghi, iar aspectul energetic, care se referă la consumul propriu tehnologic introdus suplimentar de acest regim nu este scos în evidență în nici un fel. O astfel de definiție a nesimetriilor nu este corectă și reglementările în vigoare vor trebui revizuite.

Creșterea consumului de energie electrică care a condus la o mărire a fluxului de energie în rețelele de transport și distribuție a făcut ca valorile absolute ale consumului propriu tehnologic să capete, în prezent, o importanță deosebită. În toate sistemele electroenergetice se caută metode și măsuri pentru reducerea acestor consumuri în proporție cît mai însemnată.

Prezentul articol privind influența regimului dezechilibrat asupra consumului propriu tehnologic din rețele își propune să prezinte atît aspectul teoretic al problemei, cît și rezultatele unor măsurători efectuate la trei mari consumatori industriali din București, și anume: Intreprinderea 23 August, Intreprinderea Vulcan și Intreprinderea de Mașini Grele. Prin aceste măsurători s-a căutat să se evidențieze atît gradul de nesimetrie, cît și valoarea la care se ridică consumul tehnologic introdus suplimentar în rețelele electrice de acești consumatori, obținînd astfel o confirmare practică a cercetării teoretice întreprinse. Măsurătorile s-au efectuat atît pe liniile principale care alimentează consumatorii menționați, cît și pe transformatoare pe partea de 110 kV sau 6 kV și aceasta pentru a vedea gradul de nesimetrie pe ansamblul unui consumator industrial.

1. Influența regimului dezechilibrat în regim armonic permanent asupra funcționării rețelelor electrice din sistemul electroenergetic

Înaintea abordării aspectului teoretic al problemei se vor preciza cîteva noțiuni referitoare la regimul nesimetric.

Receptor trifazat echilibrat se numește un receptor trifazat care admite o schemă echivalentă în stea, cu impedanțe complexe egale în cele trei ramuri ale stelei. Receptorul poate avea numai cele trei borne de fază (R,S,T), în care caz rețeaua de alimentare nu are fir neutru, sau poate avea și o a patra bornă (N) — nodul comun laturilor stelei echivalente, numit punctul neutru al receptorului, în care caz rețeaua de alimentare poate avea fir neutru. Un receptor cu conexiune în triunghi și impedanțe complexe egale, în laturile triunghiului, este de asemenea echilibrat, deoarece în baza teoremei transfigurării admite schema echivalentă în stea cu impedanțele egale.

Receptor trifazat dezechilibrat este acel receptor care nu îndeplinește condițiile de mai sus.

Sistem trifazat simetric direct (de succesiune directă) se numește un ansamblu ordonat de trei mărimi sinusoidale de aceeași frecvență (E_R, E_S, E_T), care au valori efective egale și diferențe relative de fază egale cu $\frac{2\pi}{3}$, astfel că mărimea E_S este în urma mărimii E_R, iar mărimea E_T este în urma mărimii E_S.

S-a folosit notația de la tensiuni electromotoare, deși definițiile prezentate sînt valabile pentru orice astfel de mărimi : tensiuni la borne, curenți etc.

Termenii *simetric* și *nesimetric* se referă exclusiv la sistemele trifazate de mărimi sinusoidale (tensiuni, curenți etc.) reprezentabile prin vectori, respectiv la regimurile caracterizate prin aceste mărimi.

Termenii *echilibrat* și *dezechilibrat* se referă exclusiv la elementele trifazate de rețea : receptoare, generatoare, linii etc., adică la sistemele de impedanță, respectiv la regimuri de funcționare.

Metoda componentelor simetrice se bazează pe descompunerea sistemelor de mărimi trifazate nesimetrice (tensiuni electromotoare, curenți etc.) în trei sisteme de componente trifazate simetrice (homopolar, direct și invers) și pe principiul suprapunerii efectelor. Această metodă se poate aplica deci numai circuitelor liniare sau practic liniare.

Pentru a pune în evidență fenomenul analizat se va utiliza metoda componentelor simetrice în studiul sistemelor trifazate dezechilibrate.

Astfel, calculul unui regim trifazat nesimetric se reduce la a calcula trei regimuri simetrice (corespunzătoare cîte unuia dintre cele trei sisteme de componente simetrice).

Sistemele trifazate au fost concepute pentru a funcționa în regimuri echilibrate, de regulă directe. În astfel de regimuri, atît generatoarele, receptoarele, cît și liniile electrice care le leagă sînt realizate echilibrat, sau se pot considera practic echilibrate, astfel ca parametrii lor de circuit pe fază, de exemplu, impedanțele, să fie egali. În condiții de simetrie, gestiunea puterilor și a energiilor electrice, ameliorarea factorului de putere etc. se fac ca în regim monofazat.

De îndată ce, cel puțin unul din elementele rețelei se dezechilibrează, adică prezintă parametri de circuit diferiți pe diferite faze, regimul de tensiuni și de curenți devine nesimetric și se resimte cu pierderi diferite în întreg sistemul energetic. În astfel de cazuri, estimarea efectelor energetice se complică. În principiu, se știe că orice regim nesimetric are efecte energetice defavorabile în comparație cu unul simetric, echivalent, dar asupra modului cum trebuie să se definească această echivalență și cum trebuie evaluate aceste efecte nu există un consens.

Pentru o înțelegere mai ușoară a problemei influenței regimului nesimetric asupra consumului propriu tehnologic din rețele, se consideră o rețea trifazată formată dintr-un generator ideal, o linie de transport și doi consumatori (receptoare). Prin generator ideal se înțelege un generator echilibrat, cu impedanțe interne neglijabile, la care tensiunile electromotoare și tensiunile la borne sînt simetrice directe. Linia de transport, precum și unul din consumatori, notat în cele ce urmează cu indicele E, se consideră că sînt echilibrați, celălalt consumator se consideră că este dezechilibrat și se va nota cu indicele RD.

În lipsa receptorului dezechilibrat regimul de tensiuni și de curenți al rețelei ar fi simetric direct, deoarece tesiunile electromotoare ale generatorului reprezintă tot un sistem simetric direct. Se demonstrează că sursa regimului nesimetric este receptorul dezechilibrat, așa cum se precizează în [1].

Teorema conservării puterilor complexe, active și reactive, permite punerea în evidență a unor fenomene caracteristice de circulație de puteri. Pentru aceasta puterea aparentă complexă debitată de generator (G), puterea primită de linie (L) și cea absorbită de receptorul echilibrat (E), exprimată în componentele ei simetrice, de secvență homopolară (0), directă (1) și inversă (2) se poate scrie sub o formă generală, astfel:

$$\underline{S}_k = \underline{S}_{0k} + \underline{S}_{1k} + \underline{S}_{2k}, \qquad (1)$$

în care k va lua simbolul G dacă se referă la generator, L dacă se referă la linia de transport și E dacă se referă la receptorul echilibrat.

Puterea aparentă complexă absorbită de receptorul dezechilibrat (RD) se va putea scrie:

$$\underline{S}_{RD} = \underline{S}_{0RD} + \underline{S}_{1RD} + \underline{S}_{2RD}. \qquad (2)$$

Teoremele conservării puterilor aparente complexe au drept consecințe următoarele relații de conservare:

$$\underline{S}_G = \underline{S}_L + \underline{S}_E + \underline{S}_{RD};$$
$$\underline{S}_{\alpha G} = \underline{S}_{\alpha L} + \underline{S}_{\alpha E} + \underline{S}_{\alpha RD}, \qquad (3)$$

în care α poate lua valorile 0,1 și 2.

Din cele de mai sus rezultă conservarea separată a puterilor active P_G și reactive Q_G, expresiile lor avînd aceleași forme ca cele din relația (3).

Fiindcă tensiunile electromotoare ale generatorului ideal formează un sistem trifazat simetric direct, rezultă că generatorul nu poate furniza puteri decît pe componenta directă, adică:

$$P_G = P_{1G}; \; P_{2G} = P_{0G} = 0;$$
$$Q_G = Q_{1G}; \; Q_{2G} = Q_{0G} = 0. \qquad (4)$$

În consecință, din relațiile de bilanț mai rezultă:

$$P_{0L} + P_{0E} + P_{0RD} = 0;$$
$$P_{2L} + P_{2E} + P_{2RD} = 0. \qquad (5)$$

Similar pentru Q.

Aceste relații arată că sursa de putere activă și reactivă pentru componentele inverse și homopolare nu este generatorul electric, ci unul din elementele pasive care intră în componența sistemului și care nu poate fi altul decît receptorul dezechilibrat.

Drept consecință rezultă următorul scenariu al circulației de puteri: generatorul electric debitează puteri numai pe componenta directă liniei de transport și celor două receptoare, iar consumatorul dezechilibrat este singurul care, în anumite situații, primește pe componenta directă o putere mai mare decît îi este necesară, din care o parte o reconvertește aparent în puteri de componentă inversă și homopolară pe care le reinjectează în rețea, suplimentînd consumurile proprii tehnologice. În acest caz receptorul se comportă similar unui convertizor [11].

Receptorul echilibrat va fi și el perturbat, în sensul că regimul lui de funcționare va deveni, într-o măsură mai mare sau mai mică, dezechilibrat. Dacă este vorba de un motor asincron, atunci puterea componentelor nesimetrice absorbită de acesta va reprezenta integral pierderi suplimentare în motor, scăzîndu-i sensibil randamentul.

2. Indicatori cantitativi pentru aprecierea efectelor energetice ale receptoarelor dezechilibrate

Pentru o definire a gradului de nesimetrie a unui sistem trifazat de vectori va trebui să se țină seama de următoarele expresii :

— factorul de disimetrie $k_2 = \frac{Y_2}{Y_1}$; (6)

— factorul de asimetrie $k_0 = \frac{Y_0}{Y_1}$, (7)

în care Y se poate referi fie la curent, fie la tensiune.

Acești indicatori sînt utili pentru caracterizarea gradului de dezechilibru pentru un receptor izolat, dar insuficienți pentru caracterizarea comportării sale în ansamblul sistemului energetic.

Pentru o definire mai corectă a gradului de nesimetrie introdus în rețelele electrice de consumatorii dezechilibrați, în [4] s-a propus un indicator care este raportul de nesimetrie definit drept :

$$k_{P_n} = \frac{P_n}{P_s}; \quad k_{Q_n} = \frac{Q_n}{Q_s}, \tag{8}$$

în care :

P_n, Q_n este puterea activă, respectiv reactivă de nesimetrie ;

P_s, Q_s — puterea activă, respectiv reactivă de regim simetric.

Puterea de nesimetrie P_n este compusă din puterea homopolară și inversă :

$$P_n = P_0 + P_1, \tag{9}$$

iar puterea de regim simetric P_s se consideră puterea de secvență directă P_1.

Dacă, de exemplu, un receptor are $k_{P_n} = -5\%$ aceasta înseamnă mai întîi de toate, că el este dezechilibrat, căci numai receptoarele dezechilibrate pot injecta puteri de nesimetrie în rețea și că 5% din puterea de simetrie primită din sistem este depreciată calitativ, conducînd la creșterea consumului propriu tehnologic al sistemului închis. Propunerea de mai sus este încă susceptibilă de a fi ameliorată.

3. Efectuarea de măsurători pentru evidențierea nesimetriilor

Pentru verificarea aspectelor teoretice menționate s-au inițiat măsurători la cei trei mari consumatori industriali, în care scop au fost luate o serie de măsuri cu caracter tehnic și organizatoric.

Acțiunea de măsurători și-a propus să realizeze înregistrarea evoluției următoarelor mărimi fizice :

— curenții pe fază : I_R, I_S, I_T ;
— tensiunile pe fază : V_R, V_S, V_T ;
— puterile trifazate active P și reactive Q ;
— curentul de secvență directă : I_1 ;
— curentul de secvență inversă : I_2 ;
— tensiunea de secvență directă : V_1 ;
— tensiunea de secvență inversă : V_2.

La măsurători au fost utilizate aparate înregistratoare de fabricație cehoslovacă METRA de tip VAREG și WATTREG—3, precum și filtre de componente directe și inverse de tensiune și de curent de tip FRT—2a și FRC—2a de fabricație ICEMENERG.

Aparatele au fost montate în secundarele reductoarelor de curent pe înfășurarea de măsură de clasă 0,5 și pe secundarele reductoarelor de tensiune. S-a avut în vedere ca încărcarea reductoarelor de măsură să nu fie depășită, pentru menținerea claselor de precizie în scopul obținerii unor rezultate cît mai corecte.

3.1. *Măsurători efectuate la Întreprinderea 23 August*

Alimentarea întreprinderii este asigurată prin două linii de 110 kV, prevăzute în cablu subteran, care pornesc din stații de transformare diferite, realizîndu-se astfel o siguranță sporită în alimentarea prin două căi și două surse de alimentare independente.

Măsurătorile au fost efectuate în stația principală de conexiuni de 110/6 kV a întreprinderii, care este de tipul racord adînc (SRA). Stația este echipată cu două transformatoare avînd fiecare o putere nominală de 40 MVA, în conexiune stea-triunghi, transformatoarele alimentînd printr-un reactor jumelat cîte o secție de bare. La alegerea punctului de măură s-a ținut seama de faptul că pe secția de bare respectivă sînt racordate cuptoare electrice, monofazate și trifazate, care sînt principalele receptoare care pot produce dezechilibre.

La Intreprinderea 23 August măsurătorile s-au desfășurat pe un interval de 15 zile. În urma rezultatelor obținute din măsurători au fost calculați : factorul de disimetrie de curent k_{2I} și de tensiune k_{2V}.

Factorul de disimetrie de curent, calculat pentru intervalul în care s-au efectuat măsu-

rători, a avut valori cuprinse între 3,8% și 21,7%; frecvența maximă de apariție a avut-o disimetria de 12,5%.

Factorul de disimetrie de tensiune a variat între 3,1% și 7,1%; frecvența maximă de apariție a avut-o disimetria de tensiune de 6%.

3.2. *Măsurători efectuate la Întreprinderea Vulcan*

Întreprinderea Vulcan este alimentată cu energie electrică prin două linii de 110 kV, din două stații de transformare diferite, ceea ce conferă o siguranță sporită în alimentare.

Măsurătorile au fost efectuate la această întreprindere pe partea de 110 kV a transformatorului de 110/10 kV, 40 MVA cu care este echipată stația Vulcan. Transformatorul respectiv alimentează două secții de bare, avînd racordate și cuptoare electrice în afara altor receptoare.

Înregistrările efectuate s-au desfășurat pe un interval de 7 zile. Pe baza datelor înregistrate au fost calculați: factorul de disimetrie de curent k_{2I} ale cărui valori s-au aflat cuprinse între 2,1 % și 11,9 %, avînd frecvența maximă de apariție de 6 % și factorul de disimetrie de tensiune k_{2V} cu valori oscilînd în jur de 0,8 %.

3.3. *Măsurători efectuate la Întreprinderea de Mașini Grele*

Întreprinderea este alimentată cu energie electrică printr-o linie de 110 kV dublu circuit, care pleacă din CET București-Sud și o legătură dublă cu restul sistemului energetic prin liniile de 110 kV Jilava 1 și Jilava 2. Prin această legătură se tranzitează, de regulă, o putere relativ redusă, aceasta constituind mai mult o alimentare de rezervă.

În perioada în care s-au efectuat măsurătorile alimentarea întreprinderii era asigurată printr-un circuit al liniei de 110 kV CET București-Sud, celălalt circuit al liniei fiind în revizie, iar pe linia de legătură cu sistemul energetic se tranzita o putere de circa 1—2 MW. În această configurație se poate considera că circuitul nr. 1 al liniei de 110 kV CET București-Sud alimenta, practic, radial I.M.G.B.

La această întreprindere au fost alese două puncte de măsură: unul pe circuitul nr. 1 al liniei de alimentare CET București-Sud, care a cuprins ansamblul consumului, iar celălalt pe un transformator de 110/35/6 kV, de 40 MVA, pe partea de 6 kV, pe secția de bare care alimentează cuptoare electrice.

Prin alergerea celui de al doilea punct de măsură s-a căutat să se evidențieze dacă transformatorul are sau nu un efect de limitare a nesimetriilor introduse de receptoarele dezechilibrate.

La Întreprinderea de Mașini Grele măsurătorile s-au efectuat pe o perioadă de 20 zile. Regimul de funcționare al întreprinderii nu a prezentat fluctuații mari în această perioadă, din care cauză s-au reținut din diagramele înregistrate valorile situate la intervale de 30 minute.

Pentru exemplificare, în tabelul 1 sînt prezentate valorile înregistrate într-o zi lucrătoare, pe o perioadă de 12 ore, valori pe care le considerăm caracteristice pentru această întreprindere.

Pentru verificarea exactității măsurătorilor a fost elaborat și un program de calcul pe baza căruia s-au determinat pe cale analitică, atît valorile componentelor simetrice de curent și de tensiune, cît și factorii de nesimetrie pentru aceste mărimi, care apoi s-au comparat cu valorile obținute din măsurători. Din compararea lor a rezultat că factorul de disimetrie de curent are valori foarte apropiate, în schimb, disimetria de tensiune măsurată prezintă valori mai mari față de cea rezultată din calcul; diferența s-ar putea datora filtrelor de componente simetrice de tensiune folosite.

Ca valori obținute se evidențiază:

— factorul de disimetrie de curent: k_{2I} = = 1,44 % ... 16,1 %, avînd frecvența maximă de apariție de 7 %;

— factorul de disimetrie de tensiune: k_{2V} = = 2,8 % ... 5,7 %, frecvența maximă de apariție avînd-o disimetria de tensiune de 4 %.

Din datele rezultate din măsurătorile efectuate pe linia principală de 110 kV care alimentează IMGB s-a calculat puterea activă, cît și cea reactivă de nesimetrie care se returnează în rețeaua de 110 kV și care se consumă sub formă de consum propriu tehnologic suplimentar, în intervalul de timp de 12 ore menționat, așa cum rezultă din tabelul 2. Valoarea medie a puterii active de nesimetrie a fost de circa 107 kW, puterea reactivă de nesimetrie a fost în medie de circa 60 kvar, ceea ce înseamnă o energie electrică activă de pierderi suplimentare în decurs de 24 ore de

2568 kWh și o energie electrică reactivă de 1 440 kvarh.

În același interval de timp, valoarea puterii medii absorbite de întreprindere de la rețea a fost de circa 37 MW, respectiv 23 Mvar. Dacă se raportează puterea activă de pierderi la puterea medie absorbită de IMGB rezultă un procent mediu de pierderi suplimentare de circa 0,3 %.

Măsurătorile efectuate pe transformatorul de 110/35/6 kV 40 MVA a evidențiat că transformatorul are un efect de atenuare a nesimetriilor fără însă a se putea aprecia valoarea acestor atenuări.

Tabelul 1

Valorile înregistrate la Întreprinderea de Mașini Grele București într-o zi lucrătoare pe o perioadă de 12 ore

Ora	I_R [A]	I_S [A]	I_T [A]	V_R [kV]	V_S [kV]	V_T [kV]	P [MW]	Q [MW]	cos φ	k_{2I} [%]	k_{0I} [%]	k_{2V} [%]	k_{0V} [%]
8,30	268,8	213,6	259,2	56,1	60,5	61,6	33	22,44	0,827	6,89	6,88	2,81	2,81
9	324	285,6	309,6	55	60,5	62,7	36,96	29,04	0,786	3,66	3,65	3,86	3,86
9,30	302,4	268,8	288	53,9	62,7	61,6	36,96	26,4	0,814	3,4	3,4	4,58	4,66
10	316,8	283,2	307,2	55	60,5	60,5	40,92	27,72	0,828	3,3	3,31	3,14	3,12
10,30	297,6	247,2	292,8	52,8	61,6	59,4	39,6	23,76	0,857	5,75	5,75	4,61	3,38
11	292,8	259,2	292,8	56,1	59,4	63,8	39,6	23,76	0,857	3,98	3,98	3,69	3,74
11,30	312	283,2	288	55	60,5	60,5	39,6	29,04	0,806	3,02	3,02	3,12	3,12
12	314,4	266,4	288	52,8	60,5	61,6	39,6	29,04	0,806	4,79	4,79	4,73	4,75
12,30	331,2	289,2	316,8	52,8	61,6	61,6	39,6	29,04	0,806	4,62	4,62	5,03	5,06
13	336	292,8	312	55,8	60,5	63,8	46,2	36,96	0,78	3,95	3,99	4,92	4,94
13,30	292,8	259,2	276	51,7	60,5	62,7	36,96	22,44	0,894	3,51	3,51	5,76	5,76
14	292,8	259,2	292,8	55	59,4	59,4	36,96	27,72	0,8	3,98	3,97	2,49	2,54
14,30	235,2	180	204	55	60,5	60,5	29,04	13,2	0,91	7,74	7,74	3,12	3,12
15	213,6	170,4	192	56,1	61,6	61,6	29,04	29,04	0,7	6,49	6,51	3,09	3,13
15,30	211,2	165,6	194,4	56,1	60,5	61,6	31,68	18,48	0,86	6,99	6,99	2,81	2,82
16	220,8	312	182,4	56,1	61,6	61,6	29,04	13,2	0,91	16,11	16,11	3,09	3,18
16,30	300	331,2	379,2	56,1	61,6	60,5	34,32	13,2	0,93	6,83	6,83	2,89	2,89
17	255,2	326,4	357,6	56,1	62,7	63,8	39,5	23,76	0,857	2,89	2,89	3,38	3,41
17,30	364,8	340,8	345,6	55	61,6	60,5	39,5	21,12	0,882	2,09	2,09	3,5	3,52
18	324	314,4	297,6	55	61,6	60,5	39,5	21,12	0,882	2,47	2,47	3,5	3,52
18,30	314,4	300	302,4	55	62,7	61,6	46,2	26,4	0,868	1,46	1,46	4	4,02
19	235,2	324	220,8	55	63,8	62,7	39,2	19,8	0,892	12,39	12,43	4,55	4,56
19,30	220,8	189,6	249,6	55	63,8	61,6	38,28	19,8	0,888	7,86	7,86	4,36	4,39
20	201,6	225,4	235,2	53,9	64,9	63,8	34,32	15,84	0,908	4,53	4,53	5,72	5,74
20,30	701,6	194,4	204	53,9	62,7	63,8	33	15,84	0,902	1,44	1,44	5,17	5,19
21	189,6	165,6	180	55	63,8	63,8	29,04	10,56	0,94	3,91	3,91	4,77	4,82
						Valoare medie	36,83 MW	22,64 Mvar					

Tabelul 2

Calculul lui P_n și Q_n consumate suplimentar în rețea sub formă de c.p.t. la Întreprinderea de Mașini Grele București

Ora	S_2 [kVA]	P_2 [kW]	Q_2 [kvar]	S_0 [kVA]	P_0 [kW]	Q_0 [kvar]	$P_n = P_0 + P_2$ [kW]	$Q_n = Q_0 + Q_2$ [kvar]
8,30	85,32	— 7,13	— 85,02	85,17	— 76,26	+ 37,9	— 83,39	— 47,12
9	76,9	— 4,52	— 76,76	76,9	— 73,9	21,2	— 78,42	— 55,56
9,30	79,44	— 35,73	— 70,96	80,85	— 80,13	— 10,75	—115,86	— 81,7
10	55,14	— 11,46	— 53,93	54,9	— 54,1	9,31	— 65,56	— 44,62
10,30	128,64	— 41,88	— 21,63	94,43	— 65,71	67,8	—107,59	— 53,83
11	73,92	— 43,45	— 69,89	74,93	— 32,8	67,34	— 76,25	— 2,55
11,30	48,9	— 34,42	— 34,72	48,86	— 47,94	9,44	— 82,36	— 25,28
12	114,9	— 41,27	—107,2	115,26	—115,07	— 6,5	—156,34	—113,7
12,30	123,9	—101,36	— 71,24	124,74	— 99,36	— 75,4	—200,7	—146,64
13	108,6	— 11,95	—107,94	109,87	—109,22	11,86	—121,17	— 96,08
13,30	97,77	— 31,5	— 92,55	97,67	— 96,26	16,52	—127,76	— 76,03
14	48,38	— 5,89	48,02	49,35	— 45,39	— 49,36	— 45,39	— 1,34
14,30	87,73	— 56,27	— 67,3	87,73	— 87,7	1,89	—143,97	— 65,4
15	69,2	— 20,2	— 66,17	70,135	— 67,06	— 20,5	— 87,26	— 86,67
15,30	66,63	— 12,82	— 65,83	67,03	— 63,5	21,44	— 76,32	— 44,39
16	213,12	— 34,07	—210,37	215,4	—137,6	165,7	—171,67	— 44,67
16,30	118,68	—103,8	— 57,5	218,6	— 40,17	—111,58	—143,97	—169,08
17	60,9	— 5,3	— 60,6	61,5	— 56,18	25,01	— 61,48	— 35,59
17,30	45,5	— 39,8	— 22,05	45,74	— 40,68	— 20,9	— 80,48	— 42,95
18	47,88	— 44,76	17	48,17	— 10,83	— 46,9	— 55,59	— 29,9
18,30	31,9	— 27,42	— 16,3	32,11	— 28,16	— 15,42	— 55,58	— 31,72
19	265,65	— 12,97	—265,3	267,4	—220,1	151,8	—233,07	—113,5
19,30	135,9	— 28,25	—132,9	137,02	— 92,92	100,7	—121,17	— 32,2
20	104,4	—104,25	— 5,46	104,7	— 72,73	— 75,31	—176,98	— 80,71
20,30	26,87	— 7,4	— 25,83	26,95	— 15,84	21,8	— 23,24	— 4,03
21	— 60,64	— 33,38	— 50,6	61,26	— 58,7	17,5	— 92,08	— 33,1
						Valoare medie	—107,06 kW	—59,94 kvar

Concluzii

Efectele consumatorilor dezechilibrați asupra rețelelor electrice de transport și distribuție, precum și asupra celorlalți consumatori care au regimuri dezechilibrate, alimentați din aceeași rețea, pînă în prezent nu au fost complet examinate din punct de vedere energetic.

Nesimetria curenților și tensiunilor generată de consumatorii dezechilibrați și de dezechilibrul caracteristicilor rețelelor are ca efect producerea unui consum propriu tehnologic suplimentar în rețelele electrice ale sistemului electroenergetic, lucru ce trebuie evitat. Dacă s-ar lua în considerare coeficientul de pierderi suplimentare de 0,3 % cît a rezultat la IMGB și s-ar generaliza la ansamblul sistemului energetic ar rezulta un consum propriu tehnologic suplimentar în rețelele electrice de circa

150 GWh/an, ceea ce ar justifica economic măsurile de simetrizare ce s-ar impune consumatorilor dezechilibrați.

Dacă receptorul echilibrat este un motor asincron atunci puterea de nesimetrie absorbită de acesta reprezintă integral pierderi suplimentare în motor, scăzîndu-i sensibil randamentul.

În literatura sovietică de specialitate [9, 10] au apărut lucrări în care se cere să se normeze factorii de disimetrie și de asimetrie de tensiune la 2 %.

Această normare la valori așa de scăzute este explicată prin faptul că alimentarea unui motor asincron avînd coeficientul de secvență inversă a tensiunii k_{2v} de 4 % în loc de 2 %, cît este admisibil, reduce durata de viață a motorului de aproape două ori [9].

După cum se știe, actualele mijloace de măsurare a puterilor și energiilor electrice în sistemul energetic nu fac distincție între receptoarele echilibrate și cele dezechilibrate, deoarece măsoară puterile și energiile primite efectiv de consumator. Pentru a putea pune în evidență efectele energetice ale circulațiilor puterilor de nesimetrie va trebui studiat și realizat un aparat care să măsoare circulațiile puterilor și energiilor de nesimetrie introduse suplimentar în rețelele electrice ale SEN de către consumatorii dezechilibrați și elaborate reglementări corespunzătoare prin care aceștia să fie obligați la luarea de măsuri de simetrizare a schemelor și a regimurilor lor de funcționare, precum și la o tarifare penalizatoare a acestor consumuri.

Totodată, va trebui inițiată elaborarea unui standard sau a unui normativ privind calitatea energiei electrice în care să se definească noțiunile de consumator echilibrat, dezechilibrat, rețea trifazată simetrică, nesimetrică etc. precum și indicatorii cantitativi prin care se pot aprecia efectele energetice ale consumatorilor dezechilibrați, dîndu-se valori admisibile pentru nesimetrii etc.

Bibliografie

[1] Țugulea, A. *Considerații privind efectele energetice în regimurile armonice nesimetrice ale sistemelor trifazate.* În: Energetica, 34, 1986, nr. 3, p. 121—128.

[2] Budeanu, C. I. *Puissances réactives et fictives.* Ed. IRE, București, 1927.

[3] Antoniu, I. S. *Bazele electrotehnicii.* Ed. Didactică și Pedagogică, 1974.

[4] Pavel, E., Ionescu, G.-T. *Efectele consumatorilor nesimetrici asupra rețelelor electrice.* În: Energetica, 34, 1986, nr. 10, p. 457—459.

[5] Antoniu, I. S., Gafencu, M. *L'expression des puissances dans un système triphasé déséquilibré et déformant en fonction des composants symétriques.* În: Rev. Roum. Sci. Techn.-Electrot. et Energ., 22, 1977, nr. 1, p. 3—9.

[6] Timotin, A., Hortopan, V. ș.a. *Lecții de bazele electrotehnicii;* vol. II. Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1964.

[7] Valov, B. M., Winkler, G. *Normarea calității energiei electrice în U.R.S.S.* În: Elektrie, nr. 8, 1984, p. 284—286.

[8] GOST 13.109—67 *Calitatea energiei electrice.*

[9] Jelezko, I. S. *Cu privire la perfecționarea normării calității energiei electrice.* În: Elektricestvo, nr. 4, 1987, p. 15—20.

[10] Mamoșin, R. R., Nikiforova, V. N. *Cu privire la perfecționarea calității energiei electrice.* În: Elektricestvo, nr. 4, 1987, p. 20—27.

[11] Pavel, E. *Receptoare trifazate dezechilibrate. Caracteristici și particularități de funcționare în regimuri stabilizate.* În: Energetica, 36, 1988, nr. 6 p. 241—249.

[12] Pierrat, L., Meyer, J.-P. *Le taux de déséquilibre, mais c'est très simple.* În: R.G.E., nr. 6, iunie 1987, p. 18—26.

[13] Țugulea, A., Golovanov, C. *Efectele energetice ale regimurilor nesimetrice și deformante ale sistemelor electroenergetice.* În: Energ, nr. 3, p. 130.

(Primit la 23 aprilie 1988, acceptat la 23 iunie 1988

Calculul siguranței în funcționare a instalațiilor energetice. Evoluție, stadiu actual, perspective

Ing. HERMINA ALBERT, ing. MANFRED STEIN, ing. PERSIDA IANCOVICI *

Descriptori: sisteme energetice, fiabilitate, siguranță în funcționare

CZ: 621.3.002.5.621.3.019.3.

Sînt marcate principalele momente ale stabilirii actualelor metode, metodologii și programe de calcul al siguranței în funcționare. Este evidențiat stadiul actual de implementare în proiectare și exploatare a tehnicilor de calcul al siguranței în funcționare și sînt subliniate unele necesități de perfecționare sau extindere a metodologiilor și reglementărilor existente, precum și de abordare a unor noi domenii.

Main stages in the establishment of the present reliability methods, methodologies and computation programs are pinpointed. The present planning and operation implementation stage of the reliability computation techniques is outlined and the existing methods and regulations improvement or extension needs as well as the approach of new fields are underlined.

Siguranța în funcționare a instalațiilor energetice a constituit o preocupare principală a energeticienilor, practic de cînd există acestea.

Bazată pe experiența inginerească, pe înregistrări statistice de date și evenimente, ea a constituit criteriu de alegere a echipamentelor din centralele și rețelele electrice, în dimensionarea unor instalații (în particular a celor hidrotehnice, tratarea statistică a debitelor rîurilor în vederea prognozei fiind prima problemă de energetică generală care face apel la calculul statistic și probabilistic). Echipamentele cu fiabilitate redusă sau fără o fiabilitate garantată de regulă nu erau achiziționate sau se puteau cumpăra la prețuri deosebit de reduse (un exemplu l-a constituit cumpărarea T.G. de 10 MW de la Filaret pentru care firma B. Boveri nu putea să dea garanții).

Această perioadă de început se poate caracteriza printr-o strictă urmărire a continuității în funcționare, a cauzelor întreruperilor, a cheltuielilor ocazionate de remedieri și întreținere.

Mai completă pentru centralele electrice unde, de regulă, existau „cărți ale mașinilor" în care erau menționate toate opririle cu cauzele lor (planificate sau accidentale), operațiunile efectuate pe perioada staționării și durata acesteia, statistica de avarii există și pentru rețele. Trebuie remarcată activitatea din cadrul Societății de Gaz și Electricitate unde dr. ing. A. Avramescu a introdus, după modelul german, o evidență deosebit de valoroasă a avariilor la toate categoriile de instalații.

* * *

Dezvoltarea impetuoasă a sistemelor energetice din ultimele decenii, a condus la maturizarea energeticii. Marile sisteme energetice apărute au amplificat considerabil problema asigurării funcționării lor, contribuind astfel la lărgirea orizonturilor acestei discipline. S-a evidențiat faptul că o conducere judicioasă a unui sistem energetic trebuie să se bazeze pe experiența dobîndită. Deci sînt necesare metode științifice de investigație a fenomenelor, care să permită o cunoaștere aprofundată a esenței lor, capabile să dea concluzii juste pe care să se întemeieze deciziile ce vor fi luate în legătură cu dezvoltarea și dirijarea sistemelor energetice. Metodele perfecționate de investigație necesită un volum minim de informații, obținute fie direct din exploatare, fie prin prelucrarea statistică a acestora corelat cu scopul urmărit. Aplicarea acestor metode, datorită complexității, necesită adesea mijloace de calcul evoluate, de regulă calculatoare cifrice. Valabilitatea rezultatelor obținute depinde direct de alegerea corectă a metodei de investigație și de calitatea datelor de intrare, a informațiilor din exploatare și corecta lor prelucrare statistică.

* * *

Siguranța în funcționare a instalațiilor energetice a devenit în prezent o problemă majoră, datorită creșterii ponderii consumului de energie electrică și a dependenței consumatorilor de continuitatea în alimentare.

Fiabilitatea este astăzi un domeniu de sine stătător, cu metode și reglementări tehnice proprii, care permit stabilirea nivelului de siguranță în funcționare și optimizarea acestuia pe criterii economice. Ca știință interdisciplinară are un rol practic în cuantificarea numeroaselor aspecte și relații de la faza de concep-

* Ing. Hermina Albert, ing. Manfred Stein, ing. Persida Iancovici — Institutul de Studii și Proiectări Energetice București.

ție pînă la (și în) faza de exploatare propriu-zisă, ceea ce permite, pe de o parte, stabilirea soluțiilor tehnice pentru ridicarea nivelului de siguranță și eficiența lor economică, iar, pe de altă parte, evidențierea răspunderilor în legătură cu acesta (în proiectare, la furnizorul de echipamente, în exploatare).

* * *

Ținînd seama de importanța problemei siguranței în funcționare, în ultimele decenii ea a constituit o preocupare permanentă a tuturor energeticienilor din România. Avînd în vedere că metodele empirice practicate în trecut nu mai puteau da rezultate în noile condiții de creștere atît a complexității instalațiilor energetice, cît și a cerințelor față de continuitate, în proiectare și exploatare s-au utilizat noi căi de abordare a problemei „siguranța în funcționare".

Activitatea dusă în acest domeniu, în care se remarcă în mod deosebit cea organizată în ISPE de prof. dr. doc. ing. V. I. Nitu pentru proiectare și cea organizată în cadrul DEN pentru problemele de exploatare a SEN, a condus la elaborarea unui număr foarte mare de studii și lucrări publicate. În cele ce urmează se vor menționa numai cîteva momente considerate mai semnificative, marcînd cotituri în abordarea și tratarea calculului siguranței în funcționare a instalațiilor energetice.

* * *

Trecerea de la aprecieri calitative, cu caracter subiectiv, la expunerea cifrică a indicatorilor de siguranță, a însemnat un progres important, care a deschis noi perspective.

În România prima publicație cu caracter original în acest sens [1] s-a referit la schemele electrice și utiliza pentru modelare metoda binomială.

Începînd din 1960 în cadrul DEN a început să fie efectuate calcule pentru evaluarea siguranței acoperirii cererii de putere și energie electrică pe baze probabilistice, utilizîndu-se experiența altor sisteme [2, 3], datele statistice privind comportarea grupurilor electrogene existente în centrale și aceeași metodă binomială. În această etapă încep și primele cercetări pentru determinarea daunelor provocate de întreruperile în alimentarea cu energie electrică [4] și de apreciere probabilistică a acestora [5], daunele începînd să fie considerate unul din elementele de decizie în alegerea soluțiilor de alimentare a consumatorilor.

Din 1967 au început să fie introduse de ISPE calcule probabilistice în planificarea dezvoltării centralelor electrice, mai întîi pe modelele de studii CIGRE și apoi pentru SEN, elaborîndu-se și primele programe cifrice de calcul în acest sens [6].

Extinderea studiului siguranței, aplicarea acestuia la noi situații, a evidențiat că metoda binominală care nu ia în considerare interdependența dintre stările diferitelor elemente componente ale instalațiilor, nu poate conduce în toate cazurile la o analiză suficient de precisă. Studiile întocmite în ISPE au condus la concluzia că o modelare prin procese stocastice de tip Markov este mai adecvată [7] pentru o mare varietate de probleme, dintre care mai importante sînt: siguranța în funcționare a schemelor electrice și a schemelor tehnologice ale centralelor electrice, evaluarea puterii de rezervă într-un sistem energetic.

Introducerea metodelor statistico-probabilistice în diverse activități energetice, necesitatea delimitării domeniilor de aplicare a diverselor metode de studiu, au făcut utilă tipărirea de lucrări [8] care să pună la dispoziția specialiștilor informațiile necesare din acest domeniu.

Calculele efectuate într-o primă etapă manual sau cu ajutorul mașinilor de calcul de birou permiteau tratarea problemelor referitoare la instalațiile cu un număr redus de elemente.

Punerea în funcțiune a primului calculator de performanță în cadrul DEN a făcut posibilă elaborarea [9] primului program de calcul al siguranței în funcționare a conexiunilor energetice.

Existînd metode, metodologii și programe de calcul al siguranței în funcționare, aplicarea acestora pe un număr mare de cazuri (în ISPE era o permanentă preocupare pentru organizarea și dezvoltarea activității legate de fiabilitate, promotor și animator fiind directorul de atunci al institutului prof. dr. doc. V. I. Nitu), a urmat o perioadă cu importante acțiuni de implementare a acestora: înființarea în 1970, în ISPE, a Colectivului siguranța în funcționare cu rolul de a asigura tuturor compartimentelor din institut metodologiile necesare pentru studiul siguranței și de control asupra tuturor lucrărilor din acest punct de vedere; organizarea la Galați, în octombrie 1970, a primei conferințe tehnico-științifice *Siguranța în alimentarea cu energie electrică și căldură a marilor consumatori industriali*, sub președenția acad. dr. doc. R. Rădulet; elaborarea, în ISPE, în 1973 a primului normativ privind elementele de calcul al siguranței în funcționare [10]; introducerea din 1972 la Facultatea de Energetică a Institutului Politehnic București a cursului de fiabilitate a instalațiilor energetice (generalizat apoi la alte facultăți din țară).

Importanța acestor acțiuni pentru dezvoltarea în continuare a activității în domeniul calculului siguranței în funcționare este deosebită.

Colectivul de siguranță în funcționare a asigurat din 1970 și pînă în prezent elaborarea, pe baza studiilor întocmite, de noi metode, metodologii de date de bază și reglementări

necesare calculelor de siguranță, dintre care se menționează ca mai importante :

- introducerea schemelor echivalente în efectuarea calculelor de siguranță [11];
- evidențierea, în raport cu un nod studiat, a siguranței aferente alimentării din sistem (siguranța asociată) și a siguranței proprii nodului (siguranța intrinsecă), ceea ce permite localizarea măsurilor pentru creșterea siguranței [12];
- programe de calcul specializate al siguranței diferitelor tipuri de instalații tehnologice ;
- crearea și dezvoltarea de baze de date de fiabilitate pentru echipamente energetice, ca rezultat al organizării urmăririi în exploatare a instalațiilor și echipamentelor din SEN, pentru necesitățile calculelor de fiabilitate pe scheme tehnologice, și pentru elaborarea de cerințe privind nivelul de fiabilitate al echipamentelor [13, 14];
- implementarea unor elemente de normare a nivelului de siguranță în funcționare pentru produsele destinate instalațiilor energetice [13, 14];
- stabilirea unei metodologii de verificare a siguranței funcționării SEN în ansamblu, în scopul identificării și evitării avariilor extinse [15];
- instituirea statisticilor anuale de disponibilitate pentru unități termoenergetice, cu elemente de identificare a contribuțiilor importante la indisponibilitatea acestora ;
- trecerea la proiectarea de soluții pentru sistemele tehnologice din centralele electrice pentru niveluri prescrise de disponibilitate ale unităților energetice [17];
- introducerea noțiunii de „echivalent economic al disponibilității" (EED) și fundamentarea valorilor, pentru categorii de unități energetice, pentru selecția tehnico-economică a soluțiilor care realizează performanțele de disponibilitate cerute [18];
- implementarea analizelor fiabilistice la proiectarea instalațiilor din partea clasică a CNE [19];
- elaborarea de metode specifice de calcul al fiabilității schemelor de protecție și automatizări energetice, inclusiv a schemelor cu calculatoare electronice [20].

Organizarea primei conferințe cu tema siguranța în funcționare, succesul deosebit pe care l-a avut prin participarea largă și competentă, a determinat reluarea acesteia în 1973 prin al II-lea Simpozion „*Siguranța în funcționare a instalațiilor energetice*" și ținerea regulată la doi ani a acestora, în acest an fiind al IX-lea. Aceste simpozioane au tratat în principal : metode și modele de calcul al siguranței în funcționare utilizate în proiectare și exploatare ; măsuri și metode de determinare și ridicare a disponibilității centralelor ; creșterea siguranței în funcționare a SEN în ansamblu ; siguranța alimentării consumatorilor. Ele s-au ținut în diferite centre din țară (București, Galați, Iași, Suceava, Sibiu, Pitești ș.a.) și au antrenat mii de participanți. În cadrul acestor simpozioane s-au prezentat peste 1500 lucrări, multe dintre ele valoroase, care au marcat noi direcții de studiu, necesitate de perfecționare și au dezbătut problemele actuale la fiecare din etape. Prin aceste acțiuni s-a asigurat o largă și mai corectă aplicare a calculelor de siguranță în funcționare, s-a generat interesul pentru aplicații.

A fost editat normativul privind elementele de calcul al siguranței în funcționare a instalațiilor energetice, prin care se reglementa : domeniul de aplicare ; definițiile și notațiile utilizate ; indicatorii tehnici de siguranță și metodele de determinare pentru puterea instalată și ansamblul SEN, pentru alimentarea cu energie electrică a consumatorilor industriali, pentru rețelele urbane ca și pentru rețelele de transport (linii și stații), instalațiile de alimentare cu căldură, centrale termo și hidroelectrice. Instrucțiunile pentru calculul siguranței în funcționare, cuprind relații de calcul și exemple numerice pentru toate categoriile de instalații.

Editarea acestui normativ a permis introducerea calculelor de siguranță și la multe institute de proiectare ale ministerelor industriale și generalizarea acestor calcule în întreprinderile M.E.E. Reactualizarea periodică a acestuia prin grija Colectivului de siguranță din ISPE (în anii 1979 și 1984 — [21, 22]) a asigurat o bună informare a energeticienilor din toate ramurile economiei, permițînd acestora să efectueze calculele necesare pentru corecta dimensionare a instalațiilor, pentru evaluarea nivelului de siguranță în exploatare și pentru proiectarea de instalații de centrale cu nivel prescris de siguranță.

Introducerea în institutele de învățămînt superior cu începere din 1972 a cursurilor de fiabilitate (titular al primului curs, la Facultatea de Energetică-IPB, prof. dr. doc. V. I. Nitu), formarea unor puternice colective de cercetare în acest domeniu la București, Iași, Cluj și altele, a dus la perfecționarea metodelor, la îmbogățirea informațiilor atît cu privire la comportarea echipamentelor, cît și la daunele provocate de întreruperile în alimentarea cu energie electrică (în special la I.P. Iași).

Pentru pregătirea studenților și în avantajul energeticienilor au fost elaborate lucrări teoretice și aplicative [23, 24].

Numeroase lucrări elaborate în cadrul ISPE au fost publicate în străinătate, reflectînd o bogată activitate de urmărire în exploatare a instalațiilor în condiții specifice deosebite, pre-

cum și contribuții teoretice privind modele de calcul (CNE, CIGRE, UNIPEDE, PSCC etc.).

Ca o activitate deosebită trebuie menționată cea desfășurată în legătură cu funcționarea SEN în timp real [25, 26]. În cadrul CCE-ISPE și DEN au fost elaborate metodologii și programe de estimare a stării sistemului și de evaluare a siguranței, ele dînd bune rezultate. De asemenea, prin PE 140 s-au reglementat concepția și metodele de verificare a siguranței sistemului în scopul identificării pericolului de avarii extinse [15].

Numeroasele studii teoretice, analiza unui număr mare de cazuri au condus la existența unei concepții în abordarea problemelor majore în domeniul calculelor de siguranță în funcționare (criterii de dimensionare a SEN, prescripții de alimentare a consumatorilor industriali, condiții de garanții furnizor-consumator și altele), concretizarea acestora într-o serie de acte normative (prescripții, normative, standarde).

Calculul siguranței în funcționare trebuie să reflecte permanent starea reală a instalațiilor din acest punct de vedere, să asigure evaluarea siguranței noilor instalații și a SEN în ansamblu pentru fiecare etapă de dezvoltare.

Preocuparea actuală ar trebui îndreptată și spre corecta evaluare a siguranței în funcționare în condițiile de deficit de putere și energie în SEN, de abatere de lungă durată de la parametrii nominali (frecvență și tensiune). Ar trebui analizată valoarea informațiilor statistice obținute prin observarea echipamentelor energetice funcționînd în aceste condiții pentru calculele de siguranță din proiectare în condiții normale. Se impune, de asemenea, o atentă urmărire și evaluare a efectelor economice ale funcționării instalațiilor energetice și instalațiilor consumatorilor în condiții de frecvență scăzută și eventual completate normativele existente cu noi elemente.

Apariția primelor CNE va pune problema evaluării corecte și a urmăririi siguranței lor în funcționare.

Noua interconexiune cu U.R.S.S. la 750 kV necesită un calcul corect al nivelului de siguranță al SEN în noile condiții.

Dezvoltarea automaticii de sistem, complexitatea acesteia, pune — în faza de concepție — problema unei corecte proiectări pentru obținerea unui nivel corespunzător de siguranță, a elaborării unor modele și metodologii corecte de evaluare a nivelului de siguranță.

Modelarea SEN pentru evaluarea siguranței pe timp scurt, în diferite condiții de funcționare și în timp real, necesită în continuare perfecționări.

S-au enumerat numai cîteva domenii în care este necesară perfecționarea, în viitorul imediat, a metodelor de calcul al siguranței în funcționare a instalațiilor energetice. Evident, nu este o listă completă.

În concluzie, se poate aprecia că în prezent, prin metodele, metodologiile, programele și reglementările existente, domeniul calculului siguranței în funcționare a instalațiilor energetice este acoperit în mod corespunzător și că sînt create premisele, prin numărul mare de specialiști în domeniu și modul de organizare a activității, pentru rezolvarea noilor probleme ce trebuie abordate în perspectiva apropiată.

Bibliografie

[1] Nitu, V. I. *Exprimarea matematică a siguranței în exploatarea schemelor electrice.* În: Studii și cercetări energetice, nr. 2, 1956.

[2] Calabrese, G. *Generating reserve capacity, determined by the probability method.* În: AIEE Trans., vol. 66, 1947, p. 1439.

[3] Calvaer, A. *Le calcul des probabilités appliqué aux reserves des grands réseaux électriques.* În: Bulletin scientifique de l'AIM, nr. 7, 1957.

[4] Guțu, C., Petcu, M., Soci, A. *Determinarea daunelor provocate de întreruperea alimentării cu energie electrică.* În: Studii și cercetări energetice, nr. 1, 1960.

[5] Nitu, V. I. *Folosirea calculului probabilităților în aprecierea economică a daunelor ce se produc în exploatarea schemelor electrice prin întreruperea alimentării cu energie electrică.* Comunicare la sesiunea tehnico-științifică a IPGG, 8—9.III.1963

[6] Iancovici, P., Drăgușin, D. *Calculul rezervei de avarie în sistemul energetic după metoda Calabrese.* În: Buletinul ISPE, anul XI, nr. 1—1968.

[7] Albert, H., Brădescu, M. *Nouă metodă pentru evaluarea siguranței în funcționare a sistemului electric, folosind calculul probabilităților.* Certificat de inovator nr. 351/1965 R.S.R.

[8] Nitu, V. I., Albert, H., Brădescu, M. *Metode statistico-probabilistice utilizate în energetică.* Editura Tehnică, București, 1968.

[9] Albert, H., Marinescu, S. *Program pentru calculul conexiunilor energetice* — certificat de raționalizator 943/2969

[10] Albert, H., Petrescu, A.-M. *Normativ privind elementele de calcul al siguranței în funcționarea instalațiilor energetice.* CDE, București, 1973.

[11] Albert, H. *Equivalent diagrams for reliability studies of power connections.* În: Revue Roumaine de Sciences Techniques Electrotechnique et Energetique, tome 16, 1971.

[12] Albert, H. *Concepte ierarhizate privind siguranța în funcționare a instalațiilor energetice.* Sesiunea de comunicări a I. P. Iași oct. 1978.

[13] STAS E 11373—78. *Indicatori de fiabilitate pentru echipamente energetice. Nomenclator.*

[14] Iancovici, P. *Fiabilitatea echipamentelor energetice, caracteristică de calitate supusă regimului garanțiilor.* Al V-lea Simpozion de siguranță, Iași, 1979.

[15] Iancovici, P. *Îndrumar privind criteriile de identificare a stărilor critice în funcționarea sistemului energetic și măsuri pentru limitarea avariilor* — PE 140—78.

[16] Nitu, V. I., Stein, M., Iancovici, P., Breazu, F. *Aspecte privind disponibilitatea grupurilor de mare putere.* Al V-lea Simpozion de siguranță, Iași, 1979.

[17] Nitu, V. I., Iancovici, P., Stein, M. *Metode de prognoză a disponibilității grupurilor noi.* A II-a Conferință a Energeticienilor, București, 1980.

[18] Iancovici, P., Nistor, M., Stein, M. *Considerații asupra valorii economice a disponibilității unităților energetice.* Conferința de Energetică, București, 1986.

[19] Vintilescu, M., Iancovici, P. *Analiza fiabilității schemelor electrice de alimentare a sistemelor externe și interne de servicii proprii ale CNE cu grupuri de 700 MWe în filieră PHWR.* Sesiunea de Comunicări ISPE—ISPH, 1979.

[20] Stein, M., Vâlcereanu, A., Anastasiu, D. *Metodă de calcul al siguranței sistemelor de automatizare, protecție și control din instalații energetice.* Al VIII-lea Simpozion de siguranță, Curtea de Argeș, 1985.

[21] Albert, H., Stein, M. *Normativ privind metodele și elementele de calcul al siguranței în funcționare a instalațiilor energetice* ICEMENERG, București, 1979.

[22] Stein, M., Diaconu, St., Vâlcereanu, A., Iancovici, P. ș.a. *Normativ privind metodele și elementele de calcul al siguranței în funcționare a instalațiilor energetice.* ICEMENERG, București, 1984.

[23] Nitu, V. I. *Fiabilitatea instalațiilor energetice.* Ed. Tehnică, București, 1975.

[24] Nitu, V. I. *Fiabilitatea instalațiilor energetice.* Culegere de probleme pentru energeticieni. Ed. Tehnică București, 1979.

[25] Albert, H. *Siguranța în funcționare în comanda operativă a instalațiilor sistemului energetic.* Material D_3—4.2CSPPC, București, 1973.

[26] Nitu, V. I., Petrescu, A. M., Sevastru, A. *Metodă de evaluare a siguranței pe timp scurt pentru verificarea condițiilor de funcționare.* Al IV-lea Simpozion Siguranța în funcționare, București, 1976.

(Primit la 27 noiembrie 1987, acceptat la 5 iulie 1988)

NOUTĂȚI

Recenzie

ALBERT, H. și FLOREA, I. **Alimentarea cu energie electrică a întreprinderilor industriale.** Editura tehnică, București, 1987, vol. I și II

Dezvoltarea într-un ritm rapid a Sistemului Energetic Național (SEN) și a subsistemelor electroenergetice industriale (SSEI) se menține în actualitate ca urmare a tendinței obiective de intensificare a utilizării energiei electrice și de modernizare a proceselor tehnologice prin utilizarea roboților industriali, a automatizării complexe și prin implementarea sistemelor informatice. Ca urmare, se deschid noi perspective în modul de concepție, realizare și exploatare a instalațiilor electroenergetice, precum și în evaluarea compatibilității acestora cu mediul înconjurător.

Apariția și dezvoltarea unor științe interdisciplinare ca, de exemplu, fiabilitatea, aplicată curent în calculele de optimizare, permite utilizarea unor metodologii complexe de elaborare a soluțiilor electroenergetice care pot fi tratate mult mai complet în comparație cu metodele convenționale.

Răspunzînd problemelor tot mai complexe cu care este confruntat inginerul electroenergetician în activitatea sa orientată spre utilizarea cu eficiență maximă a instalațiilor și energiei în diferite ramuri industriale, cît și pe ansamblul sistemului energetic național, Editura Tehnică aduce o nouă contribuție la îmbogățirea literaturii de specialitate din țara noastră prin publicarea lucrării menționate.

Lucrarea, rezultat al unei îndelungate experiențe însușite de autori în activitatea desfășurată în cadrul Institutului de Studii și Proiectări Energetice, activitate care cuprinde efectuarea de studii, cercetări, anchete tehnice și probe practice pentru instalațiile SEN și ale consumatorilor industriali, este structurată pe două volume.

Vol. I (capitolele 1—6) tratează elementele și criteriile de bază utilizate în calculele de optimizare a SSEI, atît în fazele de concepție, cît și în decursul exploatării. Sînt analizate în detaliu problemele cu efect direct asupra eficienței economice a investițiilor și a economiei de energie, ca:

— determinarea corectă a consumului de putere și energie electrică;

— modalitățile de creștere a calității energiei electrice și a continuității în alimentare;

— considerații privind gradul optim de siguranță în alimentare;

— optimizarea producției și consumului local de putere reactivă.

În prezentarea problemelor sînt exemplificate în detaliu soluțiile confirmate de practica actuală, precum și tendințele de evoluție în perspectivă.

O atenție deosebită este acordată criteriilor de optimizare a soluțiilor energetice în fazele de proiectare, subliniindu-se superioritatea noilor metode (cercetarea operațională, fiabilitatea) și a tehnicii de calcul electronic asupra metodelor tradiționale de analiză.

Vol. II (cap. 7—13) cuprinde principalele probleme privind structura și regimurile de funcționare ale SSEI. Sînt analizate: principiile de alcătuire ale SSEI, structura rețelelor electrice și a stațiilor de conexiuni, caracteristicile regimurilor de funcționare, atît în stare normală, cît și în caz de perturbații, cu considerarea interdependenței cu SEN, elemente care permit stabilirea condițiilor optime de funcționare a rețelelor industriale și a Sistemului Energetic Național (cap. 7—9).

O atenție deosebită se acordă prezentării rolului centralelor electrice de platformă, principiilor și criteriilor de insularizare a surselor locale cu consumatorii prioritari (cap. 10), precum și problemelor legate de protecția, automatizarea și conducerea operativă a rețelelor industriale (cap. 11).

Aspectele complexe referitoare la racordarea la sistem a întreprinderilor industriale și la creșterea eficienței soluțiilor de alimentare pe ansamblul instalațiilor sistem-consumator sînt cuprinse în cap. 12.

Răspunzînd necesităților actuale, de o acută stringență, privind utilizarea rațională a energiei electrice la consumatori, în lucrare se indică o serie de soluții practice, aplicabile în acest scop, precum și tendințele de penetrare a energiei electrice în industrie, în perspectiva sfîrșitului de secol.

Metodele de investigație utilizate în lucrare corespund stadiului de tratare pe plan internațional a problemelor respective, indicîndu-se totodată condițiile specifice de proiectare și exploatare din țara noastră. În acest scop se menționează o bibliografie bogată, referințele adecvate la legislația tehnică a Ministerului Energiei Electrice în toate problemele prezentate, asigurînd lucrării caracterul de îndrumător practic în activitățile de proiectare și exploatare a instalațiilor electroenergetice industriale și de racordare la SEN.

Prin succesul deosebit de librărie de care s-a bucurat lucrarea, se confirmă, o dată în plus, utilitatea sa practică pe care succinta prezentare de față a reușit s-o releve doar parțial.

Ing. Mihai Nistor

Europa în anul 1986 din punctul de vedere al problemelor energiei electrice

INTRODUCERE

Acest articol este o sinteză elaborată pe baza raportului *„Situația energiei electrice în regiunea CEE (Comisia Economică pentru Europa) în 1986"*, întocmit pentru sesiunea din 25—28 ianuarie 1988 a Comitetului Energiei Electrice al CEE — ONU. Raportul cuprinde în 41 pagini informații esențiale din unele țări europene, selectate pentru a caracteriza situația energiei electrice. Informațiile au fost comunicate oficial de către aceste țări pentru a folosi la întocmirea unei situații de ansamblu pentru zona europeană.

Articolul de față poate fi considerat o continuare a rapoartelor prezentate la a XIII-a Conferință Mondială a Energiei expuse în ENERG nr. 3 și 4, dar mai ales o prezentare a pozițiilor luate în unele țări în urma incidentului nuclear din 26.04.1986 de la Cernobîl.

REZULTATELE GENERALE ALE ANULUI 1986

Activitatea economică s-a desfășurat cu creșteri moderate, marcate prin creșterea produsului național brut pînă la circa 2,5% și a venitului național pînă la 4,1% (U.R.S.S.).

Mijloacele de producere a energiei electrice au satisfăcut cerințele în condiții normale, influențate în unele țări de stări climatice speciale.

Consumurile pe țări, în TWh, se succed după cum urmează: U.R.S.S.—1600; R.F.G. —412; Franța — 317; Italia—199; Suedia—128; R.D.G.—120; Spania—107; Cehoslovacia—86; Norvegia și Iugoslavia — 79; Bulgaria—45; Ungaria—38; Austria—36; Grecia—27; Portugalia—20.

Față de 1985, cererile de energie electrică au crescut între 0 și 4,9%, situația pe țări prezentîndu-se astfel, în %: Bulgaria—0; R.F.G.—0,4; Finlanda—1,3; Olanda—1,3; Austria—1,5; Suedia—2,0; Belgia—2,3; Italia—2,4; Cehoslovacia—2,4; Grecia—2,6; Ungaria—2,7; Elveția—3,0; U.R.S.S.—3,5; Iugoslavia—4,4; Portugalia—4,5; Franța—4,9.

Pentru perspectiva imediată, evoluția economică moderată nesolicitînd creșteri importante de energie electrică, în mai multe țări investițiile pentru noi centrale electrice au fost corectate în sensul reducerii lor.

Centralele termoelectrice noi sînt preponderent pe huilă și în măsură mai mică pe lignit. Puterile cele mai mari ale grupurilor în condensație sînt de 660 MW.

Prețurile hidrocarburilor, care au început să scadă în 1985, au continuat această evoluție în 1986, avantajoasă consumatorilor acestor produse, dar cu efect mic asupra prețului energiei electrice.

Incidentul nuclear de la 26 aprilie 1986 a determinat acțiuni comune, stabilite în cadrul Agenției Internaționale a Energiei Atomice-AIEA, pentru mărirea siguranței centralelor nuclearoelectrice. Totodată, în mai multe țări (Elveția, Finlanda, Italia, Olanda, Suedia), s-a început reexaminarea programelor de perspectivă privind instalarea de centrale nucleare.

Energetica nucleară a făcut, însă, un pas important prin punerea în funcțiune a primului reactor cu neutroni rapizi de mare putere, în Franța.

În cadrul schimbului reciproc de energie electrică s-au dezvoltat interconectările și, totodată, s-a manifestat interes pentru exportul, respectiv importul de energie electrică, cele mai importante țări exportatoare fiind U.R.S.S. și Franța.

În cîteva țări se intensifică măsurile de reducere a poluării mediului, produsă de CTE.

REZULTATE ȘI PERSPECTIVE PE ȚĂRI

ANGLIA

1. În domeniul nuclear se continuă executarea programului de reactoare AGR. Nu este încă aprobată CNE Sizewell, cu două reactoare PWR a 660 MW, care reprezintă trecerea de la filierele cu răcire cu CO_2 și moderator grafit (Magnox și AGR) la filiera LWR (moderator și răcire cu apă).

2. Cărbunii și-au întărit poziția, datorită unor rezultate remarcabile obținute în exploatarea CTE pe acest combustibil: randament de 34,65%, disponibilitate de 87,8% și chiar de 91,3% pentru ansamblul grupurilor de 500 și 660 MW.

Investițiile în CTE continuă, dar nu în ritm accentuat, datorită cererilor moderate de energie electrică. Supercentrala Drax a ajuns la profilul prevăzut prin punerea în funcțiune a celui de al șaselea grup de 625 MW. Alte centrale vor trebui să fie puse în funcțiune, îndeosebi pe coasta de sud, aproape de zonele de consum de energie electrică. Aceste centrale vor fi alimentate cu cărbuni transportați pe mare. De asemenea, se prevede construirea unei centrale pe lignit în nordul Irlandei.

Unele noi centrale vor înlocui CNE de tip Magnox, care ajung la limita funcțională, precum și centralele pe combustibili fosili învechite, în parte deja dezafectate sau trecute în rezervă.

În locul alimentării cu păcură a unor centrale se introduce alimentarea mixtă cărbuni-păcură.

Se experimentează termoficarea urbană din centrale de mică putere, dar se preconizează adoptarea și în marele oraș din nord, Edinburgh.

3. Se dă atenție microcentralelor eoliene cu puteri pînă la 3 MW.

4. În vederea creșterii importului de energie electrică din Franța, s-a întărit legătura prin cabluri submarine, instalîndu-se încă o pereche pentru transmiterea a 1000 MW.

5. Producerea energiei electrice este în sarcina a patru organizații autonome de stat care activează pe zone definite.

6. Ca urmare a dezafectărilor, puterea totală instalată a scăzut față de anul precedent cu 1,6%, stabilindu-se la 62788 MW.

AUSTRIA

1. Alimentată predominant cu energie hidroelectrică (din puterea totală de 15000 MW, 10000 MW în CHE și 5000 MW în CTE), programul de dezvoltare pe 10 ani cuprinde instalarea a 45 CHE care vor contribui cu o producție de 5,7 TWh/an mediu.

Din diferite cauze, CHE Hainburg (360 MW) pe Dunăre nu a intrat încă în programul de realizări.

2. În 1986 au fost puse în funcțiune trei CTE pe cărbuni, însumînd 1145 MW; vor urma alte trei, însumînd 470 MW.

Din motive economice, dar și de protecție a mediului, se prevede scoaterea din funcțiune a 11 CTE însumînd 783 MW.

Introducerea energiei nucleare este definitiv abandonată. CNE Zwentendorf, care nu a fost pusă în funcțiune, datorită votului negativ al unui referendum, va fi demontată și echipamentul vîndut.

BELGIA

1. Participarea importantă a energiei nucleare (66,9 % în 1986) va crește prin extinderea cu două grupuri a 348 MW a CNE existente Chooz B1 și B2, dar, în cazul creșterii mai accentuate a consumului, se prevede construirea unei noi CNE de 1390 MW.

2. Producția de energie electrică pe cărbuni (19,7 % în 1986) va crește prin conversiunea unor centrale pe produse petroliere și prin instalarea unor grupuri de mică putere la unii autoproducători (produsele petroliere și gazele naturale au participat în 1986 cu 10,1 %).

BULGARIA

1. Deși în 1986 producția industrială a crescut cu 4,3 % și venitul național cu 5,3 %, consumul de energie electrică nu a crescut, practic, față de 1985, dar în viitor vor fi creșteri semnificative.

2. Al IX-lea plan cincinal prevede, în principal: construirea accelerată de CNE, extinderea termoficării urbane, utilizarea completă și complexă a potențialului hidro.

3. CNE Kozlodui, echipată cu patru grupuri VVER a 440 MW, este în extindere cu primul grup VVER de 1000 MW. În viitor vor fi instalate și alte grupuri de acest tip, ceea ce va permite creșterea participării energiei nucleare de la 32,2 %, în 1986, la 40 % în 1990 și la 60 %, în 2000.

4. O activitate importantă este aceea de reconstruire și renovare a CTE clasice, ceea ce va conduce la satisfacerea unei cote importante din creșterea consumului de energie electrică pe bază de cărbuni indigeni.

5. Dezvoltarea centralelor nuclearoelectrice, precum și necesitatea de-a dispune de furnituri stabile de energie electrică au impus dezvoltarea sistemului de 400 kV. Foarte importante sînt: interconectarea Țîntăreni — Kozlodui, prin linie dublă de 400 kV, și interconectarea la 750 kV U.R.S.S. — România — Bulgaria. Interconectările vor satisface pe lungă durată necesitățile sistemului energetic al Bulgariei.

CEHOSLOVACIA

1. Producția de energie electrică este asigurată, în cea mai mare parte, de centralele termoelectrice, în principal pe lignit, care sînt urmate de energia nucleară, 21,1 %.

2 Puterea instalată de 21235 MW a crescut îndeosebi prin punerea în funcțiune a două grupuri VVER de cîte 440 MW (la CNE Dukovan), reprezentînd tranșele 2 și 3 ale acestei centrale.

ELVEȚIA

1. Guvernul a propus introducerea în constituția țării a unui articol privind politica energetică, ceea ce va defini unele competențe ale confederației în raport cu cantoanele și va introduce o taxă pentru energie, care să servească la finanțarea de cercetări etc.

2. Se întocmesc studii cu variate scenarii energetice pentru viitor, cuprinzînd și alternativa eventualei renunțări la energie nucleară, la o dată între 1990 și 2025, deși cele cinci reactoare existente funcționează fiabil, cu un indice de utilizare de peste 80 %, ceea ce a asigurat o participare a energiei nucleare de aproape 40 %.

3. Se elaborează proiecte de noi amenajări hidroenergetice, în principal pe Rin și pe Ron, precum și de reamenajări ale unor CHE existente, îndeosebi: Grande Dixence, Laufenburg și Sackingen (ambele pe Ron). În curs de amenajare sînt 12 CHE, care vor contribui la creșterea producției de energie electrică cu 0,470 TWh/an.

FINLANDA

1. Cu un consum de 52,7 TWh și o putere instalată de 10450 MW, Finlanda a ajuns la un consum specific de peste 10 000 kWh/loc. și an.

2. Deși energia nucleară are o participare importantă (38 % față de 36 % CTE clasice și 26 % CHE) nu se prevede construirea de noi CNE în afara celor două în funcțiune însumînd 2200 MW.

3. În 1986 au fost puse în funcțiune două centrale termoelectice cu grupare în contrapresiune, însumînd 132 MW și un grup cu turbină de gaz de 40 MW.

În baza Planului-cadru de alimentare cu energie electrică pe anii 1986—1995, se vor construi numai centrale clasice: de termoficare, însumînd 1100 MW și patru în condensație, dintre care două pe cărbune și două pe turbă, și o centrală hidroelectrică de 20 MW.

FRANȚA

1. La producția totală de energie electrică din 1986, de 345,8 TWh, au contribuit: energia nucleară cu 69,7 %, energia hidraulică cu 18,6 % și energia termică clasică cu 11,7 %. Aceste condiții au micșorat dependența de import de combustibili la 4 %, iar costul energiei electrice a devenit practic independent de prețurile combustibililor fosili.

2. Puterea instalată a crescut în 1986 prin punerea în funcțiune a următoarelor grupuri nucleare: patru grupuri de cîte 1300 MWe, unul de 900 MWe și reactorul supragenerator SUPER-PHENIX de 1200 MWe. Disponibilitatea CNE este satisfăcătoare , a grupurilor de 900 MW de 83 %.

3. La sfîrșitul anului 1986 erau în construcție 13 grupuri nucleare, însumînd 16 000 MW. Unul din aceste grupuri va avea 1400 MW și va fi pus în funcțiune în 1993.

4. În sectorul hidro, singurele obiective sînt: supraechiparea unei centrale cu lac de pompare, Superbissorte, și o stație de pompare la o centrală mixtă gravitațională și de pompare.

5. Nu este prevăzută construirea de centrale termoelectrice, ci dezafectarea unora uzate. Astfel, în 1985 și 1986 s-au scos din funcțiune 2750 și, respectiv, 2600 MW.

6. Exportul de energie electrică fiind în creștere (32,9 TWh față de un import de 7,7 TWh), s-a prevăzut întărirea interconectărilor cu țările vecine; astfel, sînt în curs de executare interconectări cu Spania și Italia și este pusă în funcțiune prima legătură submarină cu Anglia, pentru 1000 MWe.

7. Majoritatea perspectivelor macroeconomice a determinat reevaluarea consumurilor viitoare de energie electrică, în sensul scăderii acestora; ca urmare, două scenarii sînt avute în vedere, pentru 1990—1995, caracterizate prin consumuri de 370—430 TWh și 355—4000 TWh.

Reducerea consumurilor în perspectivă a determinat micşorarea planurilor de investiţie. Totodată, Franţa va dispune de excedente importante pentru export.

8. În consumul final de energie, energia electrică intervine cu 36%.

GRECIA

1. În 1986 în centrala Dimitrios pe lignit a fost pus în funcţiune al patrulea grup de 300 MW.

Programul pentru anii 1987—1991 cuprinde trei grupuri pe lignit de cîte 300 MW. În hidroenergetică se va instala, pînă în 1991, o putere de 770 MW, iar pînă în 1996, încă 800 MW.

Se intensifică utilizarea energiilor noi şi reînnoibile; se prevede instalarea a două grupuri geotermice a 60 MW.

ITALIA

1. Parlamentul a decis convocarea unei Conferinţe Naţionale a Energiei ale cărei concluzii vor permite adunării legislative să confirme sau să redefinească politica energetică. În aceste condiţii, se continuă construcţia CNE Montalto de Castro 2 × 1000 MW, dar au fost sistate lucrările pregătitoare ale unei noi CNE, de aceeaşi putere.

2. La producţia brută de 192 TWh din 1986 au participat cu: 70,9% energia termică clasică; 23,1% energia hidroelectrică; 4,6% energia nucleară şi 1,4% energia geotermică. La producerea de energie termoelectrică, produsele petroliere au participat în proporţie de 58,9%.

În 1986 au fost puse în funcţiune două grupuri termoelectrice de 660 MW şi 240 MW, precum şi unul geotermic (la Toscana) de 20 MW. S-a stabilit ca noile centrale să funcţioneze pe cărbune, păcură sau gaz metan, în exploatare folosindu-se combustibilul cel mai oportun la un moment dat.

Sînt în construcţie două CTE pe cărbuni: una de 4 × 660 MW (Brindisi Sud) şi alta de 2 × 320 MW (în Sardinia); sînt în curs de trecere pe cărbuni două CTE pe păcură, dintre care una de 4 × 320 MW.

3. Centrale hidroelectrice noi s-au construit numai de mică putere.

4. Importul de energie electrică (sold) este la nivelul de 22 TWh.

IUGOSLAVIA

1. La producţia totală de energie electrică de 78,5 TWh au contribuit cu: 60% energia termică clasică, 35% energia hidroelectrică şi 5% energia nucleară (CNE Krsko de 660 MW).

2. Participarea centralelor pe hidrocarburi este din ce în ce mai mică, crescînd contribuţia cărbunilor.

3. Este în curs instalarea de puteri noi în CTE şi CHE, ceea ce va ridica puterea instalată la 20 661 MW, la 01.01.1988.

4. Se funcţionează interconectat cu ţările UCPTE şi Grecia. Sistemul iugoslav asigură tranzit de energie electrică din Albania, în Italia, Austria şi România.

NORVEGIA

1. Nu are probleme energetice deosebite deoarece producţia de energie electrică continuă să fie practic numai pe CHE, dar se studiază şi posibilitatea de realizare de CTE pe gaze din Marea Nordului.

2. Consumul este caracterizat prin scăderea cu 5% a cererii de energie electrică a industriilor energointensive: industria chimică cu 22%, a oţelului şi aliajelor cu 10%, dar a rămas neschimbată cererea de energie electrică în industria aluminiului, precum şi altele.

OLANDA

1. Guvernul a decis iniţierea unor noi studii asupra securităţii reactoarelor nucleare situate în zone foarte populate; din această cauză decizia ce trebuie luată în domeniul energeticii nucleare a fost amînată.

2. În aceste condiţii se continuă dezvoltarea centralelor termoelectrice clasice care produc circa 66% din energia electrică pe gaze naturale şi circa 25% pe cărbuni.

Se prevede ca, pînă în 1995, să fie puse în funcţiune trei grupuri de cîte 660 MW pe cărbuni, cu turbine destinate mai ales încălzirii urbane. Se va proceda la modernizarea a 10 grupuri prin introducerea de turbine cu gaze în ciclul termic.

3. O nouă interconexiune va permite import de energie.

POLONIA

1. Energia electrică şi căldura în termoficare sînt produse în CTE şi CET, însumînd 27800 MW; CHE însumează 2000 MW.

Producţia centralelor termoelectrice este asigurată prin huilă şi lignit; participarea acestuia din urmă a crescut, ajungînd la 32,9% din total, îndeosebi prin extinderea CTE Belchatow cu două grupuri a 360 MW.

2. Termoficarea industrială şi urbană a luat o mare dezvoltare, asigurîndu-se o producţie de căldură de 238 PJ, aproape exclusiv pe huilă.

3. Schimburile de energie electrică cu ţările vecine s-au intensificat. Importul din U.R.S.S. a crescut foarte mult în urma punerii în funcţiune, în 1986, a liniei de 750 kV.

4. Consumul de energie electrică a crescut faţă de anul trecut cu 2,4% pentru industrie şi 5,1% pentru locuinţe şi mici consumatori.

PORTUGALIA

1. Energia electrică produsă termic reprezintă 10 TWh, iar hidraulic 8 TWh din totalul de 20,575 TWh.

2. În anul 1986 a fost pusă în funcţiune o centrală hidroelectrică de 2 × 70 MW şi un bloc termoelectric de 300 MW.

În anii următori vor fi puse în funcţiune trei grupuri în centrale cu acumulare prin pompare de circa 70 MW fiecare şi două blocuri termoelectrice de cîte 300 MW.

R.D. GERMANĂ

1. Lucrări de revizie au impus reducerea producţiei la CNE Bruno Leuschner. Se prevede extinderea cu noi blocuri a CNE Lubmin, iar în 1991 va fi pus în funcţiune primul bloc de 1000 MW al CNE Stendal.

2. Participarea CTE pe lignit a crescut, asigurînd 84% din producţia totală de energie electrică de 120,15 TWh.

3. Consumul total de energie electrică a crescut faţă de 1985 cu 2,1%, defalcat astfel: 1,4% în industrie şi 3,9% în sectorul casnic, datorită numeroaselor locuinţe noi şi utilizării aparatelor electrocasnice.

4. Este prevăzută extinderea tracţiunii electrice la 38% din totalul liniilor, îndeosebi prin înlocuirea tracţiunii diesel-electrice.

R.F.GERMANIA

1. Producția de energie electrică se bazează predominant pe combustibili clasici și energie nucleară, însumînd 130 Mtc.c., ceea ce reprezintă 34% din consumul total de energie primară al țării. Participanții principali sînt huila (42 Mtc.c.) și combustibilul nuclear (39 Mtc.c.), urmînd gazele naturale (participare mult micșorată față de trecut) și lignitul; produsele petroliere sînt destinate centralelor de rezervă și de vîrf.

Repartiția menționată a fost stabilită de organele guvernamentale: în ceea ce privește cărbunii, repartiția a fost stabilită în acord și cu industria carboniferă, pe o durată pînă în 1995.

2. Puterea instalată a crescut îndeosebi prin punerea în funcțiune a două blocuri nuclearoelectrice însumînd 2629 MW; de asemenea, se află în construcție o putere de 4000 MW.

În cadrul activităților de viitor, trebuie menționate atît obținerea unei funcționări normale a blocului nuclear de înaltă temperatură THTR de 310 MW, cît și apropiata intrare în funcțiune a grupului cu neutroni rapizi SNR de 346 MW.

3. Se află în curs de construcție o centrală electrică de 1400 MW avînd drept combustibil huila.

4. Se desfășoară o activitate de mare proporție cu privire la protecția mediului ambiant.

Centralele existente pe cărbuni, însumînd 37000 MW, vor fi amenajate pentru desulfurarea gazelor arse. Altă grupă însumînd 12000 MW va continua să funcționeze în starea actuală pînă în 1933, cînd centralele respective vor fi oprite. Acțiunea aceasta va scumpi energia electrică produsă din cărbuni cu 0,03—0,04 DM/kWh.

SPANIA

1. Activitatea energetică se desfășoară pe baza Planului Energetic Național în vigoare (PEN—83) pentru intervalul 1984—1992, care prevede o creștere anuală de 3,3% față de 4,7% în PEN—79.

Pînă în 1988—90 vor fi puse în funcțiune două centrale nuclearoelectrice; construcția altora, însă, se amînă, deoarece consumul de energie electrică nu le justifică.

Se acordă prioritate terminării unor centrale pe cărbuni, în stadiu avansat de executare, precum și a unor centrale hidroelectrice.

Se prevede ca producția de energie electrică în 1992 să provină: 39,5% din cărbuni și 29,5% din energia nucleară, față de repartiția din 1982: 40% din cărbuni și 8% din energia nucleară.

SUEDIA

1. Producția de energie nuclearoelectrică a ajuns, în 1986, la 67 TWh (aproximativ de același ordin ca cea hidroelectrică în 1985), datorită punerii în funcțiune, în 1985, a ultimelor două reactoare nucleare din programul anterior stabilit, precum și datorită factorului înalt de disponibilitate a tuturor reactoarelor suedeze, de circa 90%. În aceste condiții, producția centralelor termoelectrice pe cărbuni este de abia de 5% din total.

Măsurile importante luate pînă în prezent sînt: construirea a două mari centrale de termoficare: o centrală de termoficare în centrul orașului Stockholm (pe cărbuni), ale cărei emisii vor fi strict controlate și o centrală de termoficare la Uppsala (pe turbă, adusă de la 400 km); experimentarea construirii de centrale de termoficare de mică putere pe cărbuni pentru alimentarea cu căldură a unor localități.

Se preconizează și construirea de centrale pe gaze naturale provenite din Norvegia (din zăcăminte oceanice) și din U.R.S.S., sau pe hidrocarburi cu origine nebiologică, în acest scop urmînd a se efectua sondaje la mare adîncime.

TURCIA

1. S-a elaborat un studiu de dezvoltare pe durata 1987—2000, pe baza modelului WASP—III(Wien Automatic System Planning Package) pus la punct în cadrul AIEA, constînd în stabilirea combinației optime a mijloacelor de producere a energiei electrice pentru satisfacerea necesităților.

Mijloacele luate în considerare sînt:

— centralele existente și în construcție, care vor însuma 18 000 MW în 1996;

— centrale noi posibile: pe lignit, pe gaze, pe cărbuni importați, nucleare și hidroelectrice.

UNGARIA

1. Consumul de energie electrică a provenit 72,8% din centralele naționale, iar 27,2% din import, în principa din U.R.S.S. La început energia nuclearoelectrică a avut o pondere de 27% din total, produsă în principal de CNE Paks. În anul 1986 la centrala Paks a fost pus în funcțiune al treilea grup VVER de 440 MW, iar în 1987 al patrulea grup, puterea centralei ajungînd astfel la 1760 MW. Se va continua cu două grupuri VVER a 1000 MW, care vor fi puse în funcțiune în 1994 și 1996, centrala ajungînd astfel la puterea finală de 3760 MW.

2. CHE Bös — Nagymaros, pe Dunăre, comună cu Cehoslovacia, va avea o putere de 840 MW și va fi pusă în funcțiune în 1993.

3. Centrale termoelectrice pe cărbune, însumînd 2000 MW vor fi reamenajate pentru creșterea randamentului și pentru reducerea noxelor din gazele arse emise.

U.R.S.S.

1. Dezvoltarea energiei electrice este marcată prin ajungerea la o putere instalată de 325 000 MW, o producție de 1600 TWh și existența de linii de transport electric pînă la tensiunea de 1150 kV.

Resursele de combustibili care au participat la producția anului 1986 au reprezentat următoarele creștere față de 1985: gazele naturale 7%, cărbunii 3%, produsele petroliere 3%.

Energetica nucleară s-a dezvoltat prin punerea în funcțiune a trei grupuri de cîte 1000 MW și unul de 880 MW.

Ing. Paul Cartianu

NOUTĂȚI

*Invenții-Inovații**

(54) Titlul invenției: **MATRIȚA COMBINATĂ MULTIFUNCȚIONALĂ DE FORMARE PRIN INJECTARE INDIRECTĂ PENTRU MATERIALE PLASTICE****

(72) Inventator: **ing. Polescu Ioan Petre**
(21) Dosar nr. : 116.191
(22) Data înregistrării: 06.11.1984
(45) Data publicării: 80.06.1987
(51) Clasificare internațională: B29 F1/022
(11) Brevet România: 91.364
(73) Titular: Institutul de Cercetări și Modernizări Energetice București

Invenția se referă la o matriță de formare prin injectare indirectă, nepunctiformă și comutabilă, pentru prelucrarea maselor plastice. Matrița este prevăzută cu un distribuitor central de injectare cu comutare superioară (duza de injectare comutabilă), indiferent dacă semimatrița fixă sau mobilă este cu sau fără bacuri mobile de formare.

Sînt cunoscute mai multe tipuri de matrițe de formare prin injectare, care asigură realizarea pieselor din materiale plastice, după cum urmează:

— matriță de formare prin injectare indirectă, nepunctiformă, clasică, cu bacuri mobile de formare, prevăzută cu locașuri de piese, cu sau fără pastile de formare demontabile;

— matriță de formare prin injectare indirectă, nepunctiformă, clasică, fără bacuri mobile de formare, prevăzută cu locașuri de piese cu sau fără elemente de formare demontabile.

Soluțiile tehnice cunoscute de matrițe de formare prin injectare clasică prezintă următoarele dezavantaje:

— duzele de injectare sînt necomutabile;

— rețelele de injectare generale sînt fixe;

— schemele de lucru sînt neflexibile, neputîndu-se realiza o comutare independentă a rețelelor de injectare parțiale, existente pe aceeași matriță de formare, prin injectare clasică multi-tipo-pies;

— numărul pieselor de diferite tipuri, ce se pot realiza pe aceeași matriță de formare prin injectare clasică multi-tipo-pies, trebuie să fie egal pe produs sau să difere printr-un multiplu;

— locașurile de piese prevăzute cu elemente constructive de formare demontabile, micșorează durabilitatea matrițelor de formare prin injectare necomutabilă multi-tipo-pies.

Invenția înlătură dezavantajele menționate, prin aceea că matrița de formare prin injectare indirectă, nepunctiformă, comutabilă, multi-tipo-pies este prevăzută cu un distribuitor central de alimentare cu comutare superioară (duză comutabilă).

Blocarea distribuitorului central de injectare cu comutare superioară, în timpul procesului de lucru, după executarea cursei de comutare, se realizează prin intermediul unui subansamblu de blocare.

În funcție de tehnologia de formare comutabilă, distribuitorul poate fi prevăzut cu:

— simplă blocare, conform figurii 1, prin intermediul subansamblului de blocare superior sau inferior;

— dublă blocare, conform figurii 1, prin intermediul subansamblului de blocare superior și inferior.

Rotirea distribuitorului central de injectare cu comutare superioară dintr-o poziție de lucru în alta se realizează prin intermediul unui subansamblu de comutare.

În continuare se dau detalii constructive legate de realizarea invenției.

În figurile 1...3 se prezintă rețelele de alimentare generale flexibile ale unor matrițe de formare prin injectare indirectă, nepunctiformă, comutabilă, care sînt prevăzute cu distribuitoare centrale de injectare cu comutare superioară (duze comutabile).

Conform invenției, în funcție de gradul de flexibilitate a sistemului de alimentare, rețelele de injectare generale cu comutare centrală superioară, se clasifică astfel:

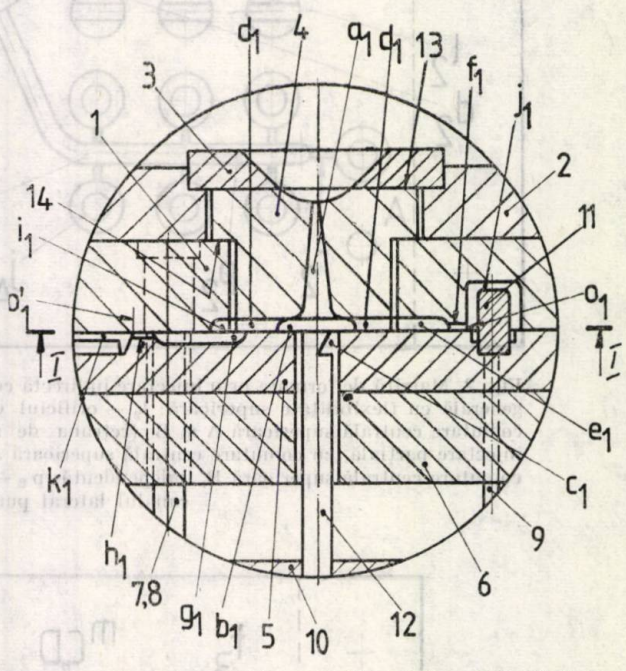


Fig. 1. Secțiune verticală, parțială, printr-o matriță de formare prin injectare indirectă cu comutare centrală superioară, prevăzută cu o rețea de alimentare generală cu flexibilitate combinată (superioară și inferioară): 1 — placa de formare superioară cu alimentare comutabilă; 2 — placa de prindere superioară; 3 — inelul de centrare superior; 4 — distribuitorul central de injectare cu comutare superioară (duza de injectare comutabilă); 5 — placa de formare inferioară cu alimentare comutabilă; 6 — placa port-matriță; 7 — readucător; 8 — contrareaducător; 9 — aruncător; 10 — placa port-aruncătoare; 11 — pastila de formare; 12 — extractorul central de culee; 13 — subansamblul de blocare superior; 14 — subansamblul de blocare inferior; I—I planul de deschidere a matriței; a_1 — canalul central conic de injectare comutabil; b_1 — cavitatea centrală de distribuție cu comutare superioară; c_1 — locașul central al extractorului de culee fără autoextracție; d_1 — microcanalul central de alimentare cu comutare superioară; e_1 — canalul central de alimentare superior, fix; f_1 — microcanalul central puntiță de jectare superior, fix; g_1 — canalul central de alimentare inferior, fix; i_1 — microcanalul central de alimentare superior, fix; j_1 — locașul de formare cu alimentare comutabilă centrală, superioară, care imprimă pe piesă o urmă de injectare superioară; k_1 — locașul de formare cu alimentare comutabilă centrală, superioară, care imprimă pe piesă o urmă de injectare inferioară; 0_1 — secțiunea transversală, port-urmă de injectare superioară, a microcanalului f_1; $0'_0$ — secțiunea transversală port-urmă de injectare inferioară, a microcanalului h_1.

---

* Rubrică întocmită de ing. Mircea Nicolescu — Șef Colectiv Protecția Proprietății Industriale, ICEMENERG.

** Invenția a obținut premiul III la Salonul de Invenții — Bihor (Oradea), octombrie 1987.

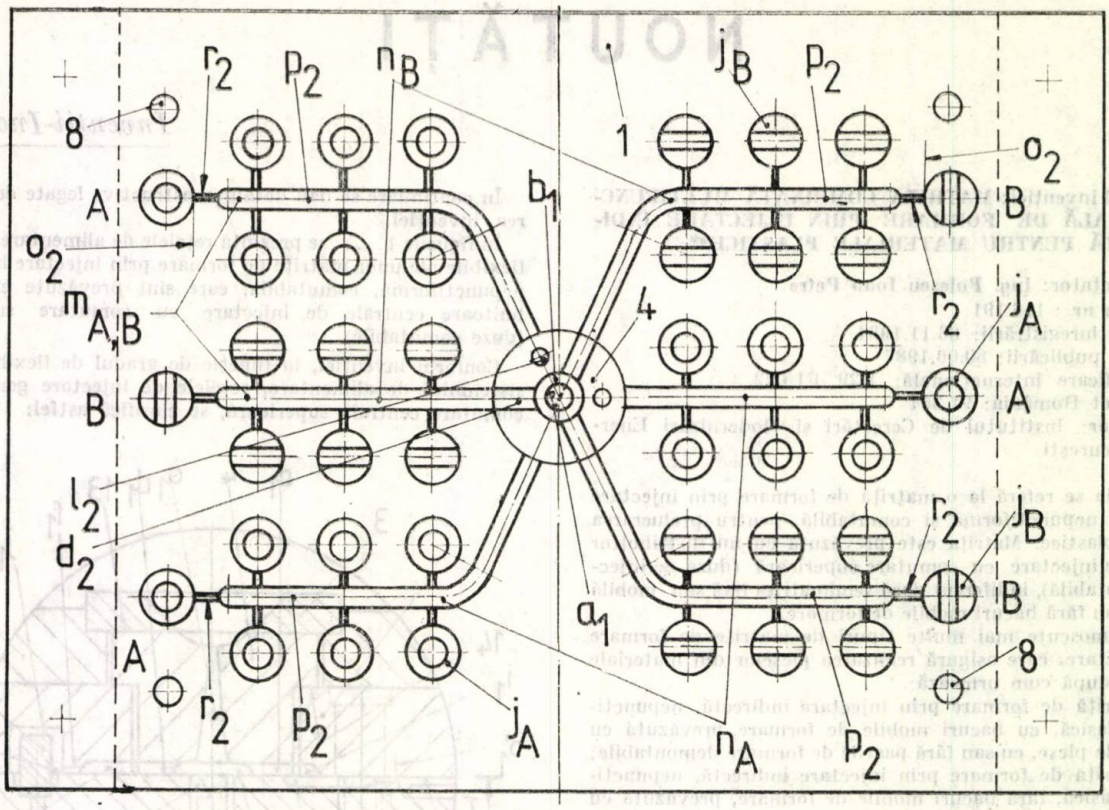


Fig. 2. Matriță de formare prin injectare indirectă cu duză comutabilă, prevăzută cu o rețea de alimentare generală cu flexibilitate superioară: l_2 — orificiul de comutare; $m_{A,B}$ — rețeaua de injectare generală, cu comutare centrală superioară A și B (rețeaua de alimentare cu flexibilitate superioară); n_A — rețeaua de injectare parțială, cu comutare centrală superioară A, independentă; n_B — rețeaua de injectare parțială, cu comutare centrală superioară B, independentă; p_2 — canalul central de distribuție superior, fix; r_2 — microcanalul lateral puntiță de injectare superior, fix.

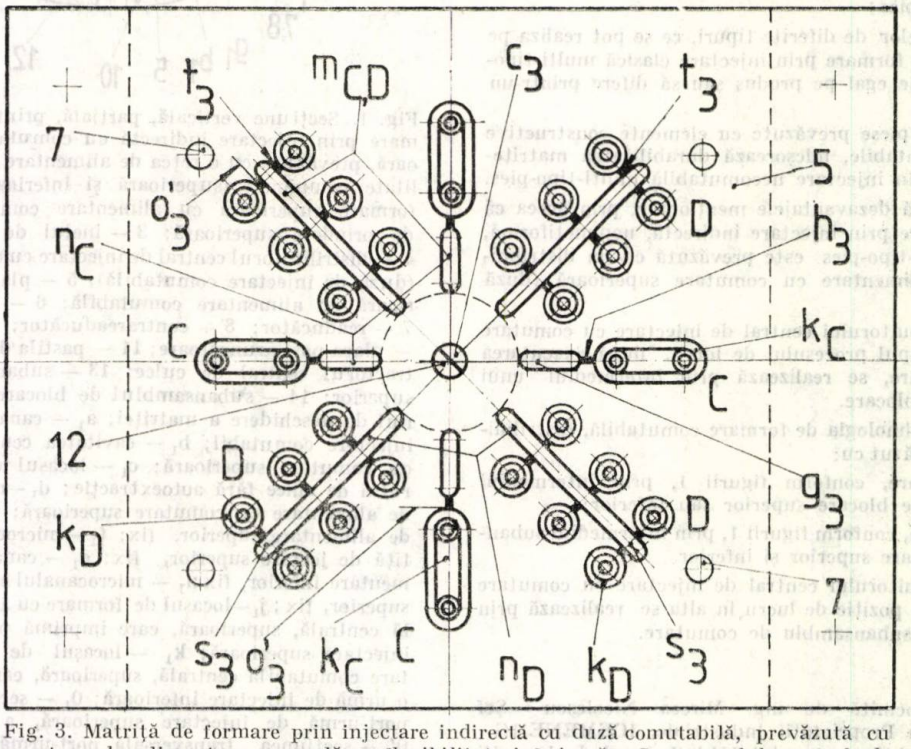


Fig. 3. Matriță de formare prin injectare indirectă cu duză comutabilă, prevăzută cu o rețea de alimentare generală cu flexibilitate inferioară: S_3 — canalul central de distribuție inferior, fix; t_3 — microcanalul lateral puntiță de injectare inferior, fix.

— rețeaua de injectare generală cu comutare centrală superioară, prevăzută cu o flexibilitate de alimentare superioară (fig. 2);

— rețeaua de injectare generală cu comutare centrală superioară, prevăzută cu o flexibilitate de alimentare inferioară (fig. 3);

— rețeaua de injectare generală cu comutare centrală superioară, prevăzută cu o flexibilitate de alimentare combinată (superioară și inferioară) (vezi fig. 1.).

În funcție de particularitățile constructive ale rețelelor de injectare generale, comutabile, distribuitoarele centrale de alimentare cu comutare superioară, conform invenției, se pot executa în mai multe variante constructive, după cum urmează;

— duze comutabile, prevăzute la partea inferioară, în zona centrală, cu o cavitate centrală de distribuție comutabilă, care comunică simultan cu două pînă la șase microcanale centrale de alimentare, de asemenea comutabile;

— duze comutabile, prevăzute la partea inferioară, în zona centrală, cu un nod central de distribuție comutabil, care comunică simultan cu două pînă la șase microcanale centrale de alimentare, de asemenea comutabile.

Invenția, așa cum este indicat în figurile 4 și 5, permite, prin intermediul rețelelor de alimentare comutabile, modernizarea unor matrițe de formare prin injectare clasică, indirectă și nepunctiformă, proiectate și omologate cu zone active de formare inutilizabile.

Tehnologia de injectare comutabilă, prin utilizarea distribuitorului central de alimentare cu comutare superioară, asigură transformarea acestor zone active de formare inutilizabile în zone de formare recuperabile, ceea ce permite o sensibilă îmbunătățire a tehnicii de proiectare, de execuție și de exploatare a matrițelor de injectare pentru mase plastice.

Revalorificarea zonelor active de formare inutilizabile a permis conceperea, proiectarea, executarea, experimentarea și omologarea unor locașuri de formare suplimentare, care au fost amplasate în fostele zone active de formare nerecuperabile.

Invenția permite, de asemenea, prin intermediul schemelor de lucru comutabile, modernizarea altor matrițe de formare prin injectare indirectă, nepunctiformă și necomutabilă, care au fost concepute și proiectate cu zone active de formare semiutilizabile, așa cum se poate vedea și din figurile 6 și 7.

Rețeaua de injectare generală cu comutare centrală superioară, asigură, prin intermediul duzelor comutabile, transformarea acestor zone active de formare semivalorificabile (disponibile), în zone de formare reutilizabile, ceea ce a permis realizarea unor noi locașuri de formare suplimentare. Indiferent de schema de amplasare a acestor locașuri de formare suplimentare, rețelele de injectare cu duze comutabile, asigură alimentarea optimă a cavităților de piese suplimentare.

În funcție de gradul disponibilității de formare, pe care îl prezintă în procesul tehnologic schemele de lucru clasice, matrițele de formare prin injectare necomutabilă se clasifică după cum urmează:

— matrițe de injecție clasice prevăzute cu o disponibilitate centrală de formare, respectiv proiectate cu zone centrale de formare semiutilizabile, așa cum este ilustrat în figura 6;

— matrițe de injecție clasice prevăzute cu o disponibilitate laterală de formare, respectiv proiectate cu zone laterale de formare semivalorificabile;

— matrițe de injecție clasice prevăzute cu o disponibilitate centrală și laterală de formare.

Invenția, așa cum reiese din figurile 8 și 9, permite a se prevedea încă din proiectare la unele matrițe de formare prin injectare indirectă, nepunctiformă și comutabilă, cu sau fără bacuri mobile de formare, două sau mai multe pastile sau zone active de formare semifabricate.

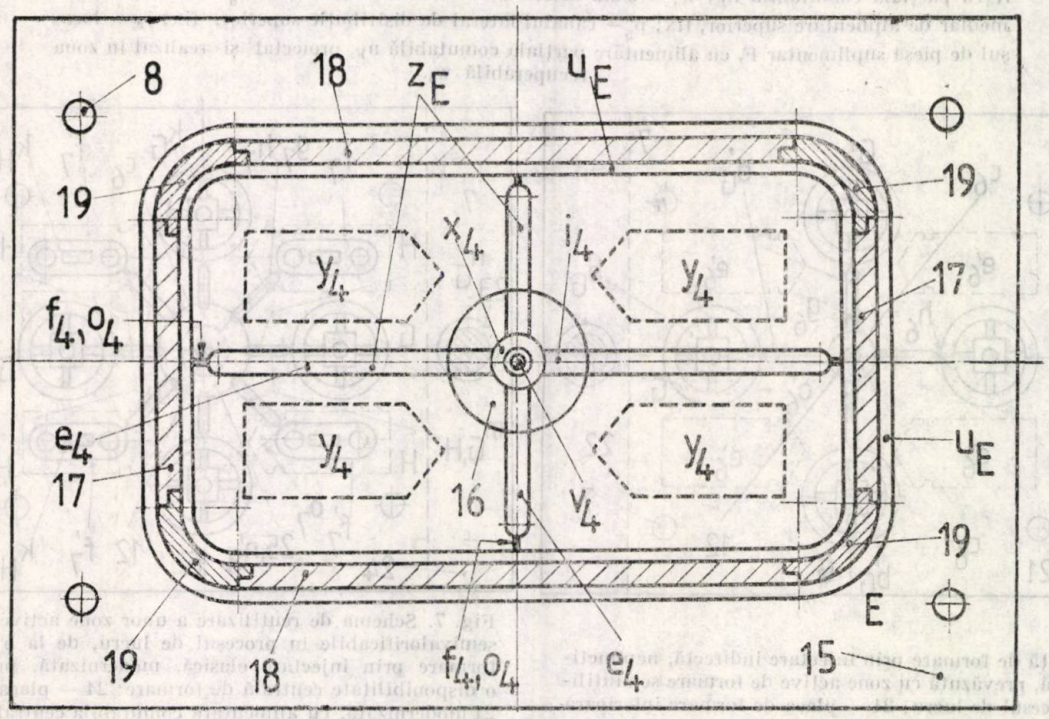


Fig. 4. Matriță de formare prin injectare indirectă, nepunctiformă, clasică, prevăzută cu zone active de formare inutilizabile în procesul de lucru: 15 — placa de formare superioară cu alimentare necomutabilă de la o matriță de injecție clasică, omologată, prevăzută cu zone active de formare inutilizabile; 16 — duza de injectare necomutabilă; 17 — segment de formare I; 18 — segment de formare II; 19 — segment de formare III; u_E — locașul de formare E cu alimentare centrală necomutabilă, superioară; v_4 — canalul central conic de injectare necomutabil; x_4 — cavitatea centrală de distribuție superioară, fixă; y_4 — zona activă de formare inutilizabilă (nerecuperabilă) în procesul de lucru clasic; z_E — rețeaua de injectare necomutabilă E, superioară.

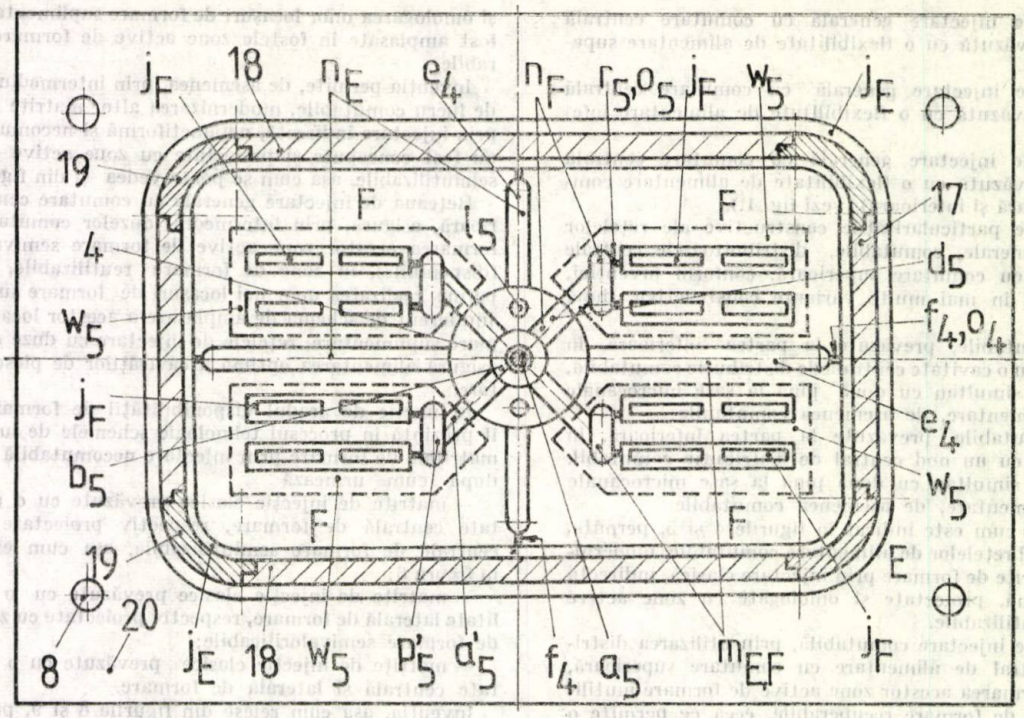


Fig. 5. Schema de recuperare a unor zone active de formare inutilizabile, în procesul de lucru necomutabil, de la o matriță de formare prin injectare clasică, modernizată: 20 — placa de formare 15 modernizată, cu alimentare comutabilă centrală, superioară; j_E — locașul de formare u_E modernizat, la care rețeaua de injectare clasică (necomutabilă) z_E a fost transformată într-o rețea parțială comutabilă n_E; w_5 — zona activă de formare recuperabilă; a'_5 — canalul intermediar de alimentare superior, fix; p'_5 — canalul lateral de distribuție superior, fix; j_F — locașul de piesă suplimentar F, cu alimentare parțială comutabilă n_F, proiectat și realizat în zona recuperabilă w_5.

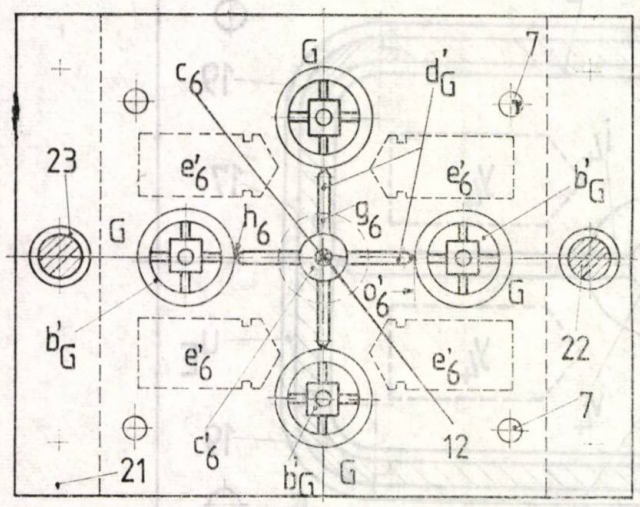


Fig. 6. Matriță de formare prin injectare indirectă, nepunctiformă, clasică, prevăzută cu zone active de formare semiutilizabile în procesul de lucru: 21 — placa de formare inferioară cu alimentare necomutabilă, de la o matriță de injecție clasică, omologată, prevăzută cu zone active de formare semivalorificabile în procesul de lucru; 22 — coloana de ghidare; 23 — bucșa de ghidare; b'_G — locașul de formare G cu alimentare necomutabilă centrală, inferioară; c'_6 — cavitatea centrală de distribuție inferioară, fixă, fără autoextracție; d'_G — rețeaua de injectare necomutabilă G, inferioară; e'_6 — zona activă de formare semiutilizabilă (semivalorificabilă) în procesul de lucru clasic.

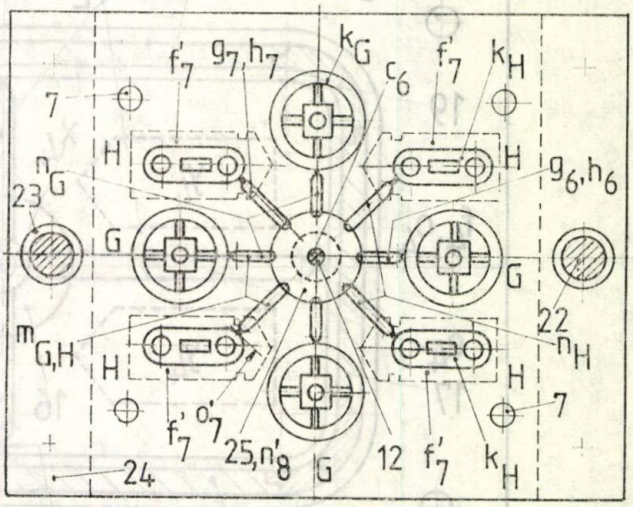


Fig. 7. Schema de reutilizare a unor zone active de formare semivalorificabile în procesul de lucru, de la o matriță de formare prin injectare clasică, modernizată, prevăzută cu o disponibilitate centrală de formare: 24 — placa de formare 21 modernizată, cu alimentare comutabilă centrală, superioară; 25 — pastilă de formare, care asigură întreruperea rețelei de injectare clasică d'_G; k_G — locașul de formare b'_G modernizat, la care rețeaua de injectare necomutabilă (clasică) d'_G, a fost transformată într-o rețea de alimentare comutabilă n_G; f'_7 — zona activă de formare reutilizabilă (revalorificabilă) în procesul de lucru, prin intermediul procedeului de injectare comutabil; k_H — locașul de piesă suplimentar H, cu alimentare parțială comutabilă n_H, proiectat și executat în zona reutilizabilă f'_7.

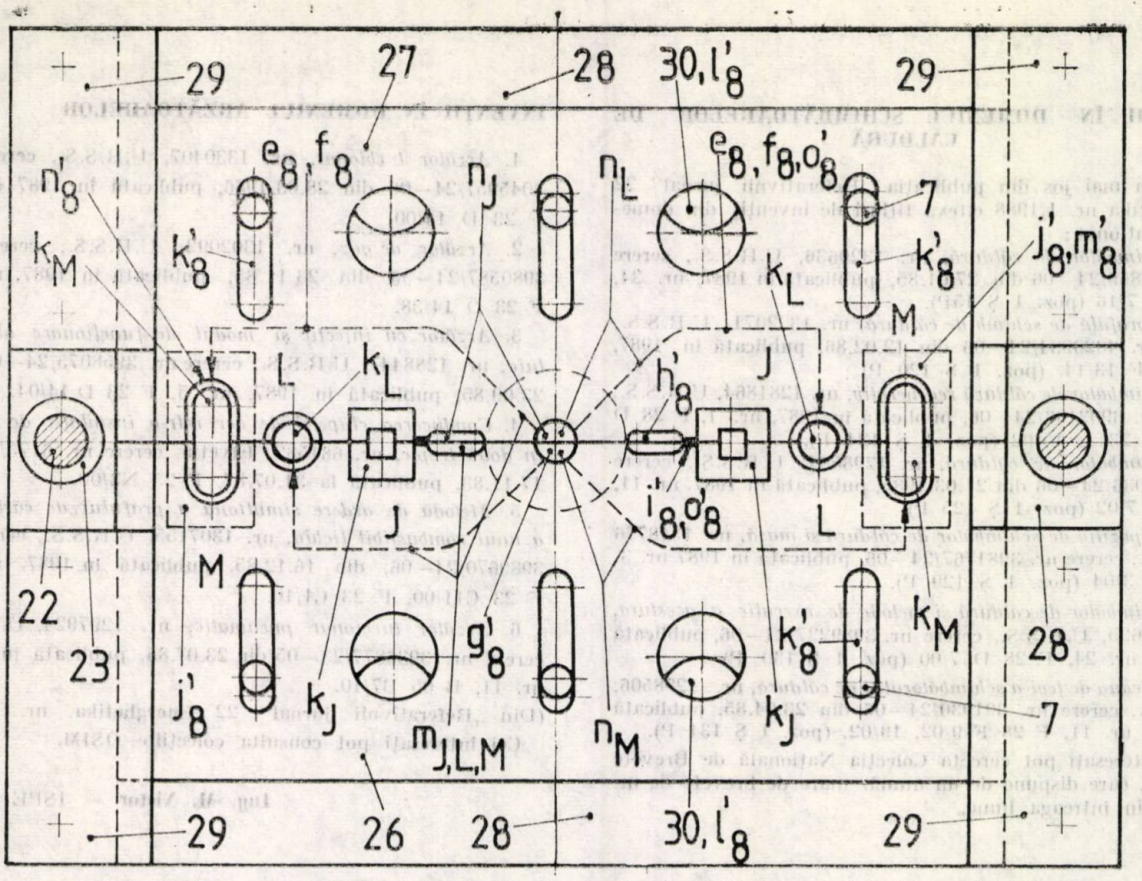


Fig. 8. Matriță de formare prin injectare cu comutare centrală superioară și cu bacuri mobile de formare, prevăzută din proiectare pentru intervenții tehnologice operative, cu zone active de formare semifabricate: 26 — bacul mobil de formare stinga; 27 — bacul mobil de formare dreapta; 28 — placa port-bacuri; 29 — ghidaj bac; 30 - coloana de ghidare inclinată; g'_8 — locașul central al extractorului de culee cu autoextracție; h'_8 — canalul central de alimentare inferior, mobil, necomutabil și fără autoextracție; i'_8 — microcanalul central puntiță de injectare inferior, mobil, necomutabil și fără autoextracție; j'_8 — zona activă de formare semifabricat prelucrată; n'_8 — locașul de piesă pentru intervenții tehnologice operative; k'_8 — locașul de ghidare pentru readucătorul 7; l'_8 — locașul de ghidare pentru coloana 30; m'_8 — zona activă de formare semifabricat neprelucrată; n'_8 — locașul de blocare a pastilei de formare.

În aceste zone sau pastile de formare semifabricate, în mod eficient, comparativ cu metodologia clasică de proiectare și de execuție a matrițelor de injecție necomutabile, se pot concepe, proiecta, executa, experimenta și omologa în cel mai scurt timp posibil, niște locașuri de formare pentru intervenții tehnologice operative. Aceste cuiburi de formare operative rezolvă cu rapiditate și eficacitate, din punctul de vedere al SDV-urilor, unele situații tehnice constructive sau tehnologice, apărute în mod accidental în timpul realizării proceselor tehnologice de fabricație și care nu au fost prevăzute de cercetătorul, proiectantul sau tehnologul produsului lansat în fabricație.

Utilizarea invenției are următoarele avantaje:

— creșterea productivității muncii în atelierele de proiectare și de execuție a matrițelor de injecție multi-tipo-pies, cu sau fără bacuri mobile de formare;

— rentabilizarea utilizării matrițelor de formare prin injectare multi-tipo-pies, cu sau fără bacuri mobile de formare în producția de serie mică sau individuală;

— utilizarea rațională a oțelurilor aliate pentru scule;

— creșterea durabilității matrițelor de formare prin injectare multi-tipo-pies, cu sau fără bacuri mobile de formare;

— recuperarea, refolosirea și revalorificarea unor matrițe de injecție clasice, prevăzute din proiectare cu zone active de formare inutilizabile sau semiutilizabile (disponibile).

Referințe bibliografice

Brevete, RO nr. 52.592; 47.499 și 91.168.
Brevet, DE-OS nr. 2.815.698
Brevet, DE-AS nr. 1.215. 876

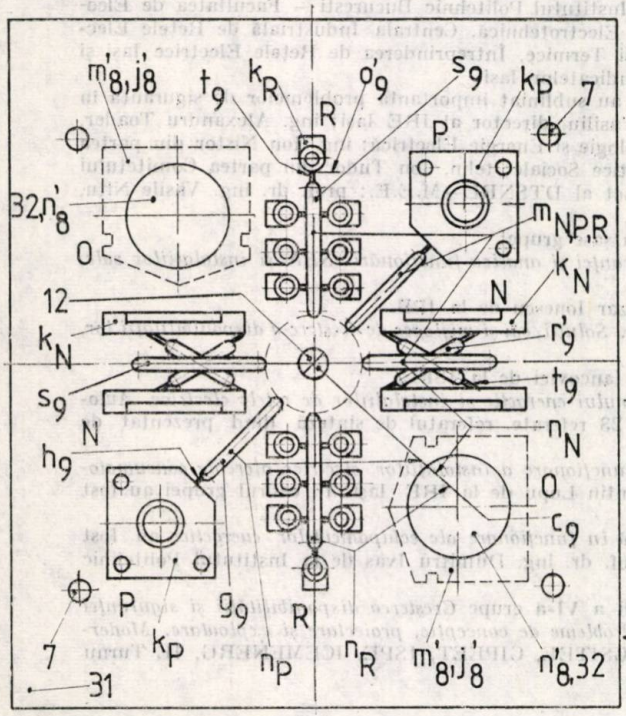


Fig. 9. Matriță de formare prin injectare cu comutare centrală superioară și fără bacuri mobile de formare, prevăzută din proiectare pentru intervenții tehnologice operative, cu pastile de formare semifabricate: 31 — placa de formare inferioară cu alimentare comutabilă centrală superioară, prevăzută din proiectare cu pastile 32; 32 — pastilă de formare semifabricat; r'_9 — canalul lateral de alimentare inferior, fix.

INVENȚII ÎN DOMENIUL SCHIMBĂTOARELOR DE CĂLDURĂ

Redăm mai jos din publicația „Referativnii jurnal" 22 Energhetika nr. 1/1988 citeva titluri de invenții din domeniul menționat:

1. *Schimbător de căldură*, nr. 1320636, U.R.S.S., cerere nr. 3854869/24—06 din 27.01.85, publicată în 1987, nr. 24, F 28 D 7/16 (poz. 1 Ș 15P).

2. *Suprafață de schimb de căldură*, nr. 1322071, U.R.S.S., cerere nr. 4020934/24—06 din 12.02.86, publicată în 1987, nr. 25, F 13/14. (poz. 1 Ș 120 P).

3. *Schimbător de căldură regenerativ*, nr. 1281864, U.R.S.S., cerere nr. 3902193/24—06, publicată în 1987, nr. 1, F 28 D 19/02 F 23 L 15/02 (poz. 1 Ș 124 P).

4. *Schimbător de căldură*, nr. 1298504, U.R.S.S., cerere nr. 3870036/24—06 din 21.03.1985, publicată în 1987, nr. 11, F 28 D 7/02 (poz. 1 Ș 125 P).

5. *Dispozitiv de schimbător de căldură și masă*, nr. 1318776 U.R.S.S., cerere nr. 3981767/24—06, publicată în 1987 nr. 3, F 28 B 3/04 (poz. 1 Ș 129 P).

6. *Schimbător de căldură și metoda de execuție a acestuia*, nr. 1320635, U.R.S.S., cerere nr. 3989227/24—06, publicată în 1987 nr. 24, F 28 D 7/00 (poz. 1 Ș 130 P).

7. *Rețeaua de țevi a schimbătorului de căldură*, nr. 1298506, U.R.S.S., cerere nr. 391930/24—06 din 23.04.85, publicată în 1987, nr. 11, F 28 F 9/02, 19/02. (poz. 1 Ș 131 P).

Cei interesați pot cerceta Colecția Națională de Brevete a OSIM, care dispune de un număr mare de brevete de invenții din întreaga lume.

INVENȚII ÎN DOMENIUL ARZĂTOARELOR

1. *Arzător turbionar*, nr. 1330407, U.R.S.S., cerere nr, 4045957/24—06 din 28.03.1986, publicată în 1987 nr. 30, F 23 D 14/00.

2. *Arzător de gaz*, nr. 1302092, U.R.S.S., cerere nr. 3980587/24—06 din 25.11.85, publicată în 1987, nr. 13, F 23 D 14/38.

3. *Arzător cu injecție și modul de funcționare al acestuia*, nr. 1288447, U.R.S.S., cerere nr. 3958075/24—06, din 23.09.85, publicată în 1987, nr. 5, F 23 D 14/04.

4. *Conducerea clapetei de aer într-o instalație de arzător în două trepte*, nr. 661582, Elveția, cerere nr. 6175/83, din 17.11.83, publicată la 31.07.87, F 23 N3/00.

5. *Metodă de ardere simultană a prafului de cărbune și a unui combustibil lichid*, nr. 1307155, U.R.S.S., cerere nr. 3989670/24—06, din 16.12.85, publicată în 1987, nr. 16, F 23 C11/00, F 23 C1/10.

6. *Arzător turbionar pneumatic*, nr. 1297924, U.R.S.S., cerere nr. 3936877/23—05 din 23.07.85, publicată în 1987, nr. 11, B 05 B7/10.

(Din „Referativnii jurnal" 22 Energhetika, nr. 1/1988)

Cei interesați pot consulta colecțiile OSIM.

Ing. M. Nistor — ISPE

Cronică

Al IX-lea Simpozion „Siguranța în funcționare a instalațiilor energetice"

Iași, Iunie 1988

În zilele de 8—9 iunie a.c., în frumoasa clădire a Teatrului de copii și tineret „Luceafărul", s-au desfășurat la Iași lucrările celui de al IX-lea Simpozion „Siguranța în funcționare a instalațiilor energetice". Organizatorii simpozionului au fost: Consiliul Național al Inginerilor și Tehnicienilor, Ministerul Energiei Electrice, Institutul Central de Cercetări Energetice, Institutul de Studii și Proiectări Energetice, Institutul Politehnic București — Facultatea de Electrotehnică și Energetică, Institutul Politehnic Iași — Facultatea Electrotehnică, Centrala Industrială de Rețele Electrice și Centrala Industrială de Producere a Energiei Electrice și Termice, Întreprinderea de Rețele Electrice Iași și Întreprinderea de Electrocentrale Iași, Comitetul Județean al Sindicatelor Iași.

La simpozion au luat cuvîntul următorii tovarăși, care au subliniat importanța problemelor de siguranță în funcționare în actuala etapă de dezvoltare a SEN: ing. Vlad Vasiliu, director al IRE Iași; ing. Alexandru Toader, președintele Uniunii Sindicatelor din Ministerele Mine, Petrol, Geologie și Energie Electrică; ing. Ion Nistor din partea Consiliului Central de Control Muncitoresc al Activităților Energetice Sociale; tehn. Ion Tudor din partea Comitetului Județean de Partid Iași; ing. Tiberiu Comănescu, director adjunct al DTSNRE—M.E.E.; prof. dr. ing. Vasile Nitu, președintele Secției Energetice a CNIT.

Desfășurarea lucrărilor propriu-zise s-a făcut în cadrul a șase grupe:

Grupa I. *Metode, modele și programe pentru calculul siguranței și analiza funcționării SEN și instalațiilor sale*, a cuprins 25 referate.

Referatul de sinteză a fost prezentat de ș.l. dr. ing. Cezar Ionescu de la IPB.

Grupa a II-a. *Siguranța în funcționare a centralelor electrice. Soluții, căi și mijloace de creștere a disponibilității lor*, cu 37 referate.

Referatul de sinteză a fost prezentat de ing. Persida Iancovici de la ISPE.

În cadrul **grupei a III-a** *Siguranța în funcționare a sistemului energetic și instalațiilor de rețele electrice. Automatizări de sistem pentru limitarea avariilor*, au fost prezentate 23 referate, referatul de sinteză fiind prezentat de ing. Hermina Albert de la ISPE.

Referatul de sinteză de la **grupa a IV-a** *Siguranța în funcționare a instalațiilor electrice aferente consumatorilor industriali. Rețele de distribuție*, a fost prezentat de ing. Valentin Lupu de la IRE Iași. În cadrul grupei au fost prezentate 24 de lucrări.

La **grupa a V-a** *Caracteristicile calitative și de siguranță în funcționare ale echipamentelor energetice* au fost înscrise 19 referate, iar referatul de sinteză a fost prezentat de prof. dr. ing. Dumitru Ivas de la Institutul Politehnic Iași.

În cadrul simpozionului s-au desfășurat și lucrările unei **a VI-a** grupe *Creșterea disponibilității și siguranței în funcționare a centralelor termoelectrice cu grupuri de 50 MW (Probleme de concepție, proiectare și exploatare. Modernizări aplicate)*, cu un număr de 14 referate, cu autori colectivi (ICSITEE, CIPEET, ISPE, ICEMENERG, IE Turnu Severin).

În referatele generale și în discuții s-au accentuat, că fiind de un interes deosebit pentru siguranța în funcționare a SEN și instalațiilor sale, problemele calității echipamentelor, impactul funcționării SEN cu dezechilibrare de puteri, siguranței integrării în sistem a CNE, problemele dezvoltării aplicațiilor de inginerie a disponibilității la centralele electrice, problema influenței factorului uman asupra siguranței în funcționare a instalațiilor energetice și asupra securității nucleare și problema pregătirii personalului de exploatare.

Participanților la simpozion li s-a oferit și prilejul de a cunoaște cîteva din valorile culturale ieșene, organizîndu-se în pauze și după lucrări o serie de acțiuni ca: prezentarea de fragmente din spectacolul de teatru „Coana Chirița", vizitarea sălii voievozilor din Palatul Culturii și turul orașului Iași.

A IX-a ediție a Simpozionului „*Siguranța în funcționare a instalațiilor energetice*" a fost o manifestare reușită, care și-a adus contribuția sa la o mai bună cunoaștere a realizărilor specialiștilor, la generalizarea experiențelor valoroase și la căutarea de răspunsuri adecvate unor probleme actuale de maximum interes pentru energetica românească.

Ing. Persida Iancovici
ISPE

A XII-a Conferință Internațională de Energetică Industrială Praga, septembrie 1987

1. Date generale

Conferința Internațională de Energetică Industrială (CIEI) este o conferință tehnico-științifică al cărei scop îl constituie prezentarea problemelor de utilizare rațională a energiei în tehnologiile industriale și a modului de rezolvare a acestora, precum și schimbul de experiență în acest domeniu.

Țările organizatoare ale CIEI sînt țările socialiste europene membre CAER (R. P. Bulgaria, R. S. Cehoslovacă, R. D. Germană, R. P. Polonă, R. S. România, R. P. Ungară și U.R.S.S.). Pînă în prezent au fost organizate douăsprezece ediții ale CIEI.

La fiecare din aceste ediții au participat atît specialiști din toate țările organizatoare, cît și din alte țări, conferința avînd astfel un caracter deschis. Specialiștii români au participat la toate edițiile conferinței.

Într-o primă etapă edițiile CIEI s-au succedat la interval de doi ani; în perioada actuală conferința se organizează din trei în trei ani.

Activitatea CIEI se desfășoară atît în cadrul conferințelor, cît și între conferințe.

Pentru o serie de probleme de energetică industrială considerate ca avînd o importanță deosebită au fost organizate grupe de lucru din care fac parte reprezentanți ai țărilor organizatoare și care desfășoară o activitate cu caracter permanent sub forma unor schimburi de documentații și informații și a unor reuniuni bianuale sau anuale. Sînt organizate opt astfel de grupe de lucru permanente, dintre care patru pe probleme caracteristice unor ramuri industriale și patru pe probleme teoretice metodologice sau practice cu caracter general. Fiecare grupă de lucru este coordonată de către una din țările organizatoare ale CIEI.

Lucrările unei conferințe se desfășoară pe secții. Cu ocazia conferinței au loc, de asemenea, reuniuni ale grupelor de lucru pe ramuri industriale și pe probleme generale. De la ultimele trei ediții au început a fi organizate expoziții tehnice privind realizări în domeniul utilizării raționale a energiei, precum și festivaluri tematice de filme documentare.

Pentru o conferință în țara organizatoare este desemnat un comitet național de organizare. Președintele acestuia este automat președintele CIEI de la ediția pe care o organizează și pînă la următoarea.

CIEI este condusă de către Comitetul Executiv Internațional (CEI *), din care fac parte cîte maximum trei reprezentanți ai fiecărei țări organizatoare.

Referatele pentru secțiile unei anumite conferințe se redactează în una din limbile de circulație internațională: rusă, germană, engleză, franceză.

Discuțiile în cadrul conferinței sînt purtate în limbile menționate, la care se adaugă limba țării organizatoare.

Pentru activitățile din cadrul grupelor de lucru se utilizează rusa și germana.

2. Prezentarea celei de a XII-a ediții a CIEI

Cea de a XII-a Conferință Internațională de Energetică Industrială a avut loc în perioada 14—18 septembrie 1987 la Praga, în organizarea Asociației Tehnico-Științifice pentru Energetică.

Secțiile conferinței, propuse de Comitetul Național de Organizare și aprobate de Comitetul Executiv Internațional, au fost:

Secția 1: *Planificarea, optimizarea și conducerea proceselor de raționalizare a consumului de energie și combustibili în industrie.*

Secția 2: *Creșterea eficienței energetice a receptoarelor și proceselor tehnologice.*

Secția 3: *Alimentarea cu căldură a întreprinderilor industriale; probleme tehnico-economice și organizatorice.*

Secția 4: *Utilizarea tehnicii de calcul și a electronicii pentru raționalizarea consumului de energie și combustibili în industrie.*

Lucrările secțiilor s-au desfășurat pe baza referatelor întocmite de specialiști din țările participante, precum și a rapoartelor generale întocmite de reprezentanți ai Comitetului Național de Organizare **.

Cu ocazia conferinței au avut loc reuniuni ale grupelor de lucru pe ramuri industriale și pe probleme generale. A fost organizată, de asemenea, o expoziție tehnică.

Lucrările conferinței — atît ședințele de închidere și deschidere, cît și lucrările secțiilor și simpozioanelor — s-au desfășurat în ansamblul de săli din cadrul Palatului Culturii din Praga. În același loc s-au desfășurat și reuniunile Comitetului Executiv Internațional care au avut loc în această perioadă.

---

* A nu se confunda cu Comitetul Electrotehnic Internațional.

** Lista rapoartelor prezentate poate fi consultată la ICEMENERG.

La ședințele festive de închidere și deschidere au participat o serie de personalități ale vieții politice din Cehoslovacia printre care Ladislav Gerle — viceprim ministru al guvernului federal cehoslovac, Vlastimil Ehrenberger-ministru federal al combustibililor și energiei, Karel Erbes — șef de secție la CC al PCC etc.

La conferință au participat peste 600 specialiști, în marea majoritate din țările socialiste.

Subiectul central al conferinței a fost utilizarea rațională a combustibililor și energiei în toate ramurile economiei naționale, creșterea eficienței și nivelului calitativ al producției bunurilor materiale în conjunctura energetică existentă.

Schimbările majore care au avut loc pe piața energetică mondială în deceniul 1970—80 continuă să influențeze activitatea economică și viața socială în toate țările lumii. Chiar țările cele mai dezvoltate economic și mai bogate în resurse au fost obligate să-și reașeze obiectivele de dezvoltare în funcție de situația energetică mondială. Reacțiile au fost însă diferite funcție de modul de organizare economic și social dintr-o anumită țară, de nivelul de dezvoltare industrială și de capacitatea de acomodare la noile condiții, de structura economică, de politica promovată de stat.

Astfel, imediat după primul șoc petrolier din 1973 toate țările capitaliste au frînat considerabil ritmul de dezvoltare economică, mai ales în domeniul produselor energointensive.

Măsurile luate nu au ținut, în mod prioritar, seama de consecințele sociale, astfel încît s-a înregistrat o creștere bruscă a șomajului. În același timp s-a înregistrat un proces de aplicare intensă a cuceririlor științei și tehnicii, orientat în primul rînd spre creșterea nivelului tehnic și a calității produselor, spre punerea în valoare a energiei și materiilor prime. Cu prețul unor conflicte sociale a fost posibilă menținerea și chiar creșterea eficienței producției. Pe ansamblul țărilor capitaliste dezvoltate în perioada 1973—85 s-a înregistrat o ușoară creștere economică în condițiile scăderii absolute a consumului de energie. S-au înregistrat modificări în structurile economice în sensul scăderii producției materialelor energointensive.

Evoluția situației energetice mondiale a influențat și economia internă din celelalte țări, inclusiv din cele socialiste. Referirile au fost făcute pentru Cehoslovacia, dar s-a subliniat că aspectele sînt calitativ valabile și pentru alte țări CAER. De aceea, încă din deceniul trecut a fost adoptat un program de raționalizare, orientat spre economie în ramura combustibililor și energiei. Scopul acestui program a fost, pe de o parte, creșterea gradului de valorificare a resurselor energetice interne și, pe de altă parte, creșterea gradului de eficiență a utilizării energiei în toate ramurile economiei.

În ceea ce privește prima direcție rezultatele obținute în prima etapă au fost reduse și se apreciază că perspectiva de creștere a resurselor energetice în Cehoslovacia, pe termen mediu și lung, este de asemenea redusă. Mai mulți factori concură la aceasta, printre care:

— deteriorarea condițiilor de extracție a combustibililor interni de toate tipurile;
— epuizarea rapidă a rezervelor interne de cărbune;
— consecințele ecologice nefavorabile ale extracției agenților energetici și transformărilor lor ulterioare;
— condițiile de import dificile;
— investițiile mari necesitate de dezvoltarea energeticii nucleare.

În aceste condiții, accentul se deplasează asupra programelor de raționalizare a consumului, de creștere a eficienței utilizării energiei.

Într-o primă etapă accentul a fost pus pe măsuri de eliminare a pierderilor și creșterea randamentului instalațiilor consumatoare de energie. Investițiile necesare pentru realizarea unor astfel de măsuri erau reduse, iar efectele erau obținute în termen scurt. Posibilitățile oferite de aceste măsuri sînt însă obiectiv limitate și se poate aprecia că ele au fost în mare parte epuizate. Cheltuielile necesare pentru realizarea lor sînt din ce în ce mai mari, iar eficiența este din ce în ce mai redusă. S-a apreciat că pe plan mondial se înregistrează o tendință vizibilă de reducere a diferenței între costurile energiei obținute din eliminarea pierderilor și recuperarea resurselor energetice secundare, pe de o parte, și energia obținută din valorificarea surselor noi, pe de altă parte. Evident, aceasta depinde în mare măsură de condițiile concrete care se înregistrează în fiecare țară și chiar de cele la nivel local.

Accentul se pune însă din ce în ce mai mult pe măsuri cu caracter profund de schimbare a tehnologiilor, de creștere a nivelului tehnic al produselor. Astfel de măsuri necesită investiții mai mari, efectele nu sînt imediate, dar ele contribuie în mod substanțial la rezolvarea problemei. O tehnologie sau un echipament vechi vor purta amprenta concepției lor depășite chiar dacă se iau măsuri pentru îmbunătățirea lor. La un moment dat devine optimă abandonarea eforturilor de „cîrpire" a acestora și de realizare a unor tehnologii sau echipamente noi.

S-a subliniat că utilizarea energiei constituie unul din aspectele activității de producție, că eficiența utilizării energiei este o componentă a eficienței economice în ansamblu. Din acest punct de vedere obținerea unor produse de calitate superioară, valorificabile în bune condiții pe piața externă constituie o parte componentă a utilizării rationale a energiei.

Aspectele legate de protecția mediului ambiant sînt de asemenea conectate la problematica generală a economiei de energie. Mulți specialiști afirmă că ar putea veni vremea în care să avem combustibili la dispoziție, instalații de conversie energetică și utilizare etc., dar folosirea acestora să fie limitată de necesitatea menținerii unei atmosfere respirabile. Chiar dacă există o oarecare tendință de exagerare, problema este reală. În multe țări au fost adoptate legislații dure în acest domeniu. După ce în primii ani de după 1973 se înregistra o adevărată euforie față de utilizarea cărbunelui acum entuziasmul a scăzut mult, în special datorită poluării produse de acesta. De aceea în Praga cărbunele a fost înlocuit cu gazul metan.

Problemele de energetică industrială sînt multe și complexe. De rezolvarea lor corectă depinde „dacă existența noastră viitoare va fi luminoasă și caldă sau sumbră și rece".

ing. Vasile Rugină

MODELE LA SCARĂ REDUSĂ UTILIZATE LA LABORATORUL NAȚIONAL PENTRU HIDRAULICĂ AL EdF — UN AJUTOR ESENȚIAL ÎN ACTIVITATEA DE CONCEPȚIE A AMENAJĂRILOR MARITIME, FLUVIALE ȘI INDUSTRIALE, INCLUSIV A CENTRALELOR ELECTRICE

În revista EdF *Épure* din aprilie 1988 a apărut un interesant articol pe tema de mai sus, în cadrul căruia Harry Allen descrie pe scurt activitatea Laboratorului Național de Hidraulică al EdF (LNH) pe care-l conduce din 1977.

În articol se arată ce reprezintă un model hidraulic redus, la nivelul anului 1988, se descriu funcțiile acestuia, tipurile de probleme ce se rezolvă cu ajutorul modelării, care sînt principiile fizice ce-i justifică necesitatea, etapele de viață ale unui model și tehnicile moderne de exploatare.

Se dau numeroase exemple de modele însoțite de fotografii din fototeca EdF ca, de exemplu, modelul unei CNE la care răcirea se face în circuit închis, al unor turnuri, al unor lucrări de amenajare a unui rîu pentru navigație, al unui port maritim, al unui pod care traversează un rîu etc.

În cazul unei centrale electrice care folosește pentru răcire apa de mare sau de rîu, se pune, de exemplu, problema aspirației unui foarte mare debit de apă de răcire, apoi a deversării în mediul inițial a apei încălzite. În scopul creșterii randamentului centralei, ca și din considerente de poluare termică este necesar ca lucrările prizei de apă și ale instalațiilor de deversare să fie astfel concepute încît apa de răcire evacuată să se dilueze extrem de rapid și să nu fie respirată imediat.

În cazul unui reactor nuclear de la o CNE, studiile de stabilitate a structurilor necesită calcule mecanice pentru care cunoașterea cîmpului de temperatură al fluidului purtător de căldură (apă, sodium, lichid) este deseori indispensabilă. Mișcările vînturilor în jurul unui edificiu înalt, în cadrul unui ansamblu de clădiri, ca și în amplasamentul unor centrale electrice cu mari turnuri de răcire, trebuie de asemenea rezolvate adesea cu ajutorul modelelor reduse.

Costul extrem de mare al unor astfel de investiții, precum și impactul lor asupra mediului ambiant nu admit erori în proiectare și în experimentarea „în situ", fiind deci necesar să se cunoască încă înainte de a se concepe, proiecta și construi, modul în care se vor comporta în exploatare reală amenajările proiectate. Rolul modelului redus este tocmai acela de a simula funcționarea lor și de a adopta în proiecte soluția optimă.

Prezintă un deosebit interes, printre altele, modelele introduse în apă, în care direcția curenților de aer este simulată prin curenți de apă. Un astfel de model este folosit la EdF pentru studierea diluției în atmosferă a panașului emanat din turnurile de răcire ale centralelor electrice, funcție de configurația terenului și de direcția vînturilor. În acest caz panașul care se degajă din turnuri este reprezentat prin apă caldă colorată, pompată de subsolul modelului.

În majoritatea cazurilor, modelele au o suprafață de cîteva sute de metri pătrați și numai în cazuri excepționale de cîteva mii de metri pătrați. Pentru obiectivele industriale modelele nu depășesc 100 m².

Un studiu pe model durează, funcție de complexitatea problemei, cîteva luni sau cîțiva ani. Costul variază de la o fracțiune de milion de franci la cîteva milioane. Aceste costuri sînt însă foarte reduse în comparație cu riscul de a vedea un dig distrus de furtună sau un port inundat la cîteva luni de la construirea lui.

La EdF se construiesc și modele pentru un relief natural ca, de exemplu, cel pentru amenajarea de la Takamaka II, din teritoriul provinciei La Reunion.

În articol este redat printre altele și modelul unei părți din miezul unui reactor nuclear cu neutroni rapizi, în care fluidul „natural" sodiumul în fuziune, poate fi modelat prin apă, la temperatura mediului înconjurător.

Circulația fluidului în reactor este asigurată prin pompe, curgerea fiind permanentă, cu excepția cazurilor de avarie, cînd se produc schimbări care trebuie cercetate. Schimbările se obțin variind cu un calculator condițiile la limitele de debit și de temperatură a apei. Fenomenele fizice ce se cer puse în evidență trebuie transpuse în relații matematice, operație deosebit de complexă.

Revista *Epure* se poate consulta la biblioteca tehnică a Institutului de Studii și Proiectări Energetice București.

NORME INTERNAȚIONALE, NAȚIONALE ȘI LOCALE PENTRU UTILIZAREA ȘI PRELUCRAREA DEȘEURILOR MENAJERE ȘI INDUSTRIALE ÎN ITALIA

În publicația italiană „Termotecnica" 41, 1987, nr. 9, a apărut un articol semnat de Briosi Gian și Luigi Ventola Giuseppe, în care se abordează normele internaționale. În articol se arată că, deoarece la arderea deșeurilor se formează o importantă cantitate de substanțe nocive, este necesar un control chimic al produselor de ardere, iar la proiectarea instalațiilor de ardere a deșeurilor menajere — asigurarea posibilității reconstruirii lor în caz de modificare a normelor limită admise. Prin utilizarea tuturor deșeurilor solide se poate obține o producție de căldură și energie electrică echivalentă cu 3,28 miliarde kWh/an și se poate acoperi, în acest fel, 2% din consumul total de energie electrică al Italiei. Se enumeră normele utilizate în Europa de Vest privind poluarea atmosferei. Normele italiene prevăd un conținut de oxigen liber la intrarea gazelor de ardere în camera de finalizare a arderii de maximum 6% la volum, o temperatură de maximum 950 °C, durata de contact — 2 s. În cazul în care în deșeuri există combinații de clor mai mult de 2% temperatura arderii finale se ridică la 1200 °C.

Se remarcă necesitatea verificării peste 4 luni a produselor de ardere din punctul de vedere al conținutului de dioxină, metale grele, mercur și cadmiu. Cu excepția unor cazuri speciale, capacitatea instalațiilor trebuie să depășească 100 t/24 ore. În articol sînt prezentate metodele de selecție și analiză a produselor de ardere din deșeuri, normele limită de concentrare a substanțelor nocive în gazele de ardere pentru diferite regiuni ale Italiei, precum și pentru Danemarca, Suedia, Elveția, R.F.G., Franța și Austria.

(După „Referativnii jurnal" — 22 Energhetika, vol general-nr. 1/1988, poz. 1S256)

PROBLEME ALE GOSPODĂRIEI COMUNALE A ORAȘELOR DIN PUNCTUL DE VEDERE AL MEDIULUI ÎNCONJURĂTOR

Într-un raport al președintelui Direcției de Protecție a Mediului Înconjurător din Berlinul apusean sînt enumerate următoarele trei probleme de bază care stau în fața serviciilor urbane care se ocupă de salubritatea orașelor:

1. Extinderea industriei prelucrării deșeurilor în administrațiile comunale.

2. Adoptarea unor măsuri de protecție a mediului înconjurător, valabile la nivel internațional.

3. Organizarea pregătirii cadrelor (ingineri și economiști) specializate în problema protecției mediului.

Experiența arată că în cooperarea internațională protecția mediului ocupă un loc neînsemnat. În raport se dezbat problemele juridice în acest domeniu, concretizarea mijloacelor și a scopurilor, coordonarea lucrărilor la nivel federal.

(După „Referativnii jurnal" 22 Energhetika, vol. general nr. 1/1988, poz. 1S260)

PĂSTRAREA ȘI PREGĂTIREA PENTRU ARDERE A PĂCURII VÎSCOASE, ÎMBIBATE CU APĂ ÎN GOSPODĂRIILE DE PĂCURĂ DE LA CENTRALELE ELECTRICE

La folosirea în centralele electrice a păcurii viscoase apar mari dificultăți la pregătirea acesteia pentru ardere, fiind necesară încălzirea cu abur, fapt care conduce la îmbibarea combustibilului cu apă în limite largi, între 5 și 20%.

Arderea combustibilului umidificat, fără o preparare prealabilă, perturbă procesele de ardere în focar, mergînd pînă la stingerea flăcării, și micșorează economicitatea cazanelor.

Iată concluziile practice rezultate din experiența unor centrale electrice din U.R.S.S. pentru rezolvarea în bune condiții a acestei probleme:

1. În cazul unei îmbibări cu apă relativ reduse a păcurii (pînă la 10%) este indicat să se micșoreze dimensiunile particulelor fazei apoase în păcură în procesul de recepționare și pompare în rezervoare, iar păstrarea păcurii să se facă sub forma unei emulsii subțiri de apă-păcură. Temperatura păstrării emulsiei trebuie menținută la 30° C, prin aceasta realizîndu-se o înaltă omogenitate a combustibilului și o distribuție volumetrică mai uniformă a umidității. Acest proces se obține prin prelucrarea păcurii umede într-un dispersator-amestecător de tip pulsatoriu cu rotor, care se montează în gospodăria de păcură.

2. În cazul unor valori mari ale umidității inițiale, cînd disperserizarea combustibilului înainte de pomparea în rezervoarele de păcură nu este indicată, mai eficientă se dovedește depunerea intensivă a apei din combustibil, în stare neemulsionată, la o temperatură de 60—70 °C, pe o durată de 80—100 ore.

După această fază este posibilă scăderea umidității masei principale a păcurii pînă la 6—10%, prin îndepărtarea apei decantate și a stratului de păcură puternic îmbibat cu apă într-un rezervor separat în care se realizează o decantare suplimentară, a cărei eficiență este destul de mare, datorită dimensiunilor mari ale particulelor și concentrării fazei apoase.

Experiența industrială efectuată la LET—23 din sistemul MOSENERGO privind decantarea suplimentară a arătat că o astfel de măsură exclude în mod practic intrarea dopurilor de apă în arzătoarele de păcură.

Disperserizarea apei decantate în masa principală a păcurii se realizează ulterior în procesul de circulație pentru încălzirea combustibilului sau în mod nemijlocit, înainte de ardere, funcție de regimul necesar de exploatare.

Aceste concluzii sînt extrase din articolul semnat de BATUEV S. P. și KORIAGHIN V. A., publicat în revista „Promîșlennaia energhetika" nr. 5/1987.

PROBLEME ALE TURNURILOR DE RĂCIRE DIN CENTRALE ELECTRICE

Revista „VGB Kraftwerkstechnik" 1987, 67, nr. 8 publică trei articole privind turnurile de răcire.

În articolul semnat de Hannah I. W. se analizează cauzele prăbușirii, sub acțiunea unui vînt puternic, a unui turn de răcire avînd înălțimea de 114 m, în ianuarie 1984, după 18 ani de exploatare, la centrala Fiddlers-Ferry în Marea Britanie. Cercetările efectuate au arătat că principala cauză a avariei a fost slăbirea cojii, determinată de o greșeală de construcție, de calitatea slabă a betonului, de dezvelirea și corodarea armăturii în coajă și în fundații. Este, de asemenea, posibilă ieșirea cojii din regimul de oscilații sub acțiunea vîntului, cu influența perturbațiilor de la construcțiile învecinate. Cercetările efectuate în ultimii 20 ani au demonstrat că fisuri în beton și alte deficiențe de execuție și proiectare există aproape întotdeauna, dar durata de agravare a acestora, la diferite turnuri, este diferită. De aici, necesitatea unor analize comparative la toate cele 139 turnuri existente, similare, în scopul relevării și evaluării stării acestora, inclusiv a posibilității lor de prăbușire.

Un alt articol, semnat de Krätzig W. B., tratează problema stabilității și durabilității cojii la turnurile de răcire hiperbolice, analizînd măsurile cele mai indicate pentru scăderea vitezei de oscilație și a mărimii deplasării cojilor la acțiunea vîntului urmărind totodată micșorarea volumului armăturii. La apariția unor eforturi de încovoiere se produc fisuri în coajă și, drept urmare, armătura rămasă fără acoperire de beton se corodează, ceea ce duce la micșorarea durabilității cojii.

Stabilitatea și durabilitatea turnurilor pot fi obținute prin măsuri care micșorează oscilațiile, prin utilizarea unor acoperiri sigure ale suprafeței cojii, prin observarea permanentă a comportării în exploatare și prin controlul calității la execuția cojii.

Al treilea articol, semnat de Mäule R. și Alt W. abordează tema comparării economice a turnurilor hibride cu cele umede și uscate, cu ventilare atît naturală, cît și forțată. Se subliniază faptul că, în pofida costului mai mare al energiei electrice livrate de centralele electrice cu turnuri hibride, acestea vor cunoaște în viitor o tot mai largă răspîndire la noile centrale. În articol este dat un tabel din care rezultă poziția intermediară a turnurilor hibride, între cele uscate și cele umede. La comparația economică trebuie folosită o abordare specială, luînd în considerare combustibilul, pierderile de apă și costul.

(După „Referativnii jurnal" 22 Energhetika, vol. general, nr. 1/88, poz. 1S 42, 1S 43 și 1 S 44).

UTILIZAREA PREPARĂRII MAGNETICE A APEI LA CENTRALELE ELECTRICE

În publicația „Electriceskie stanții" nr. 10/1987 a apărut un articol cu titlul de mai sus, semnat de VARICEV D.V., în care se face o trecere în revistă a situației preparării magnetice a apei la CTE, în 1986. Se generalizează experiența obținută în micșorarea depunerilor pe suprafețele de încălzire ale diferitelor schimbătoare de căldură. Se dau recomandări de alegere a parametrilor pentru prepararea magnetică, la care efectul optim maxim se obține în cazul apelor cu o duritate de maximum 8 mg ech./kg, cu componentă dominantă din carbonați, la o valoare a inducției magnetice în spațiile de lucru de 0,2—0,35 T.

Odată cu scăderea durității și a temperaturilor suprafețelor schimbului de căldură efectul prelucrării crește. Cele mai ridicate domenii de utilizare a preparării magnetice sînt apa de circulație a turbinelor și apa de adaos la rețelele de alimentare cu căldură, cu încălzirea apei în preîncălzitoarele de bază, precum și în diferitele instalații de răcire.

(După „Referativnii jurnal" 22 Energetica, vol general, nr. 1/1988, poz 1R121)

GENERATOR DE CĂLDURĂ PENTRU SISTEME DE ÎNCĂLZIRE MOBILE

În R.D.G. se produc, la combinatul TGA, blocuri de încălzire transportabile, cu o putere de 12 MW. Pentru aceste blocuri a fost asimilat un cazan special de 200 kW pe cărbune brun, care trebuie să lucreze în condițiile șantierelor de construcții. La conceperea cazanului s-a acordat o deosebită atenție arderii unor cărbuni de calitate înrăutățită; puterea calorifică: între 8,5—7,1 MJ/kg, umiditatea: 50—60%, conținut de sulf — pînă la 4%, conținut de cenușă — pînă la 20%. Temperatura de calcul la intrarea în cazan este de 70 °C, iar la ieșire de 110 °C, presiunea — 0,07 MPa, randamentul la combustibilul de calcul de 70 ± 3%, rezistența tirajului — 70—100 Pa, temperatura gazelor arse este de 260 (+30/—10) °C. Înălțimea cazanului este de 2100 mm, diametrul de 1620 mm. Cărbunele poate fi încărcat, în cazan, manual sau mecanic, la fiecare 1—1,5 ore, descărcarea zgurei — o dată pe schimb.

În cazan pot fi arse brichete, huilă și, dacă se modifică izolația de șamotă, lemne.

Utilizarea acestui tip de cazan și a blocurilor transportabile este de o mare eficiență și realizează totodată importante economii de materiale.

(După „Referativnii jurnal" 22 Energhetika, vol. general, nr. 1/1988, poz. 15193)

(Materialele acestei rubrici au fost furnizate de ing. Mihai Nistor—ISPE)

СОДЕРЖАНИЕ

УПРАВЛЕНИЕ И АВТОМАТИКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

АДРИАН ПЭСКУЛЕСКУ, МИХАЙ СЭНДУЛЯК: Рекурсивные дискретные преобразования и их применение в энергерике 385—389

ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

МАРИЯ НИКОЛЕСКУ, ЛАЗЭР ЛУПЕСКУ, НИКОЛАЕ НИКОЛЕСКУ: Оценка надежности гибов трубопроводов теплоэлектростанций 390—396

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ

ДУМИТРУ ИВАС: О надежности производственных системы (обслуживание) 397—399

АДРИАН БУТА, КОРНЕЛИЯ ИВАШКУ, ЛИВИУ МИЛЯ: Влияние деформирующего режима на установки подстанций СН/ВН Национальной энергосистемы СРР 400—404

ТРАЯН — Г. ИОНЕСКУ, ШЕРБАН КОКУЛЕСКУ, МАРИНА НЯГОЕ, ЭУДЖЕНИУ ПАВЕЛ: Несиметричный режим — причина дополнительных расходов на собственные технологические нужды в электрических сетях 404—411

ХЕРМИНА АЛЬБЕРТ, МАНФРЕД ШТАЙН, ПЕРСИДА ЯНКОВИЧ: Расчет надежности работы энергоустановок. Эволюция, актуальное состояние, перспективы 412—416

ИСТОРИЯ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ

ПАУЛ КАРТИАНУ: Европа в 1986 году, с точки хрения проблем электроэнергии 417—420

НОВОСТИ

ОТ НАЦИОНАЛЬНОГО КОМИТЕТА МЕЖДУНАРОДНЫХ ОРГАНЗАЦИИ ЧЕИ 396

РЕЦЕНЗИИ 416

ИЗОБРЕТЕНИЯ—НОВАТОРСТВА 421—426

ХРОНИКА

ПЕРСИДА ЯНКОВИЧ: IX Симпозиум „Надежность работы энергетических установок", Яссы, 1987 г. 426—427

ВАСИЛЕ РУДЖИНЭ: XII Международная Конференция по промышленному энергохозяйству, Прага 1987 г. 427—428

ИЗ МИРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ 416, 429—430

INHALT

DIE LEITUNG UND REGELUNGSTECHNIK DER VERBUNDNETZE

ADRIAN PĂSCULESCU, MIHAI SĂNDULEAC: In der Energiewirtschaft angewandte diskrete rekursive Transformationen 385—389

WÄRMEKRAFTWERKE

MARIA NICOLESCU, LAZĂR LUPESCU, NICOLAE NICOLESCU: Auswertung der Betriebssicherheit der Leitungskrümmer aus den Wärmekraftwerken 390—396

ELEKTRISCHE NETZE

DUMITRU IVAS: Betrachtungen zur Betriebssicherheit der Erzeugungssysteme (Bedienung) 397—399

ADRIAN BUTA, CORNELIA IVAȘCU, LIVIU MILEA: Die Auswirkungen des deformierenden Regimes auf den Anlagen für Mittel- und Hochspannung des nationalen Verbundnetzes 400—404

TRAIAN-G. IONESCU, ȘERBAN COCULESCU, MARINA NEAGOE, EUGENIU PAVEL: Das unsymmetrische Regime — Auslöser zusätzlicher technologischer Eigenverbräuche in den Elektroenergienetzen 404—411

HERMINA ALBERT, MANFRED STEIN, PERSIDA IANCOVICI: Berechnungen zur Betriebssicherheit der Energieanlagen, Entwicklung, gegenwärtiger Stand. Aussichten 412—416

DIE GESCHICHTE DER ENERGIEWIRTSCHAFT

PAUL CARTIANU: Europa im Jahre 1986 vom Standpunkt der Elektroenergiefragen 417—420

NEUIGKEITEN

VON DEN NATIONALKOMITEES DER INTERNATIONALEN ORGANISATIONEN — IEC 396

BUCHBESPRECHUNGEN 416

ERFINDUNGEN—NEUERUNGEN 421—426

CHRONIK

PERSIDA IANCOVICI: Das 9. Symposium „Die Betriebszuverlässigkeit der Energieanlagen", Iași, 1987 426—427

VASILE RUGINĂ: Die 12. Internationale Konferenz für Industrielle Energiewirtschaft, Prag, 1987 427—428

DIE ENERGIEWIRTSCHAFT WELTWEIT 429—430

SOMMAIRE

CONDUITE ET AUTOMATION DES RÉSEAUX D'ÉNERGIE

ADRIAN PĂSCULESCU, MIHAI SĂNDULEAC: Transformations discrètes récursives appliquées en réseaux électriques 385—389

CENTRALES THERMIQUES

MARIA NICOLESCU, LAZĂR LUPESCU, NICOLAE NICOLESCU: Estimation de la fiabilité des coudes des tuyaux des centrales thérmiques 390—396

RÉSEAUX ET POSTES ÉLECTRIQUES

DUMITRU IVAS: Considérations concernant la fiabilité des systèmes de production 397—399

ADRIAN BUTA, CORNELIA IVAȘCU, LIVIU MILEA: Les effets du régime déformant sur les installations des postes MT/HT du réseau d'énergie roumain 400—404

TRAIAN-G. IONESCU, ȘERBAN COCULESCU, MARINA NEAGOE, EUGENIU PAVEL: Le régime nonsymétrique (irrégulier) générateur de consommations propres technologiques supplémentaires dans les réseaux électriques 404—411

HERMINA ALBERT, MANFRED STEIN, PERSIDA IANCOVICI: Le calcul de la fiabilité des installations énergétiques. Evolution, l'état actuel, perspectives 412—416

HISTOIRE DE L'ÉLECTRIFICATION

PAUL CARTIANU: L'Europe en 1986 du point de vue des problèmes concernant l'énergie électrique 417—420

NOUVEAUTÉS

DE LA PART DU COMITÉ NATIONAL DE LA COMMISSION ELECTROTECHNIQUE INTERNATIONAL 396

COMPTE—RENDUS 416

INVENTIONS—INNOVATIONS 421—426

CHRONIQUE

PERSIDA IANCOVICI: Le IX-ème symposion: La sûreté de fonctionnement des installations énergétiques" Iași, 1987 426—427

VASILE RUGINĂ: La XII ème Conférence Internationale d'Energétique Industrielle, Praga, 1987 427—428

L'ENERGIE DANS LE MONDE 429—430

CONTENTS

ENERGY SYSTEMS CONTROL AND AUTOMATION

ADRIAN PĂSCULESCU, MIHAI SĂNDULEAC: Discrete Recursive Transforms Applied in Energy 385—389

THERMAL POWER PLANTS

MARIA NICOLESCU, LAZĂR LUPESCU, NICOLAE NICOLESCU: Reliability Estimation of Thermal Power Plants Pipes Bendings 390—396

ELECTRIC GRIDS

DUMITRU IVAS: Considerations About the Reliability of Production Systems (Assistance) 397—399

ADRIAN BUTA, CORNELIA IVAȘCU, LIVIU MILEA: Distorting Regime Effects on the Facilities and Electric Devices Operating Within the Medium and Low Voltage Substations of the National Power Grid 400—404

TRAIAN-G. IONESCU, ȘERBAN COCULESCU, MARINA NEAGOE, EUGENIU PAVEL: The Non-symmetrical Regime Generating Supplementary Technological Eigenconsumptions in the Electric Grids 404—411

HERMINA ALBERT, MANFRED STEIN, PERSIDA IANCOVICI: Power Installations Reliability Calculation. Evolution, Present Stage, Outlook 412—416

THE HISTORY OF ENERGY

PAUL CARTIANU: Europe in 1986 from the Point of View of Electric Energy Problems 417—420

NEWS

FROM THE NATIONAL COMMITTEES OF INTERNATIONAL ORGANISATIONS—IEC 396

REVIEWS 416

INVENTIONS—INNOVATIONS 421—426

CHRONICS

PERSIDA IANCOVICI: The 9th Symposium „Power Installations Reliability", Iași, 1987 426—427

VASILE RUGINĂ: The 12th International Conference on Industrial Energetics, Prague, 1987 427—428

ENERGY WORLDWIDE 429—430

MŰSZAKI INFORMÁCIÓS KÖZPONTI ÉS GAZDASÁGI INTÉZET 1983

COLEGIUL DE REDACȚIE

Președinte, redactor responsabil: **dr. ing. Eugeniu Pavel**
Redactori responsabili adjuncți: **dr. ing. Mihai G. M. Pop, dr. ing. Gheorghe Bălan, ing. Radu Opincaru**
Secretar de redacție: **dr. ing. Teodor Popa**
Gestiune financiară: **ec. Pompiliu Silvășanu**
Orientări în energetică: **dr. ing. Mario Duma**
Energetica în unități economice: **ing. Ion Măiereanu, ing. Alexandru Florescu**
Dezvoltarea sistemelor energetice: **dr. ing. Nicolae Armencoiu, dr. ing. George Manolescu**
Conducerea și automatica SE: **dr. ing. Victor Romert, dr. ing. Jean Constantinescu**
Centrale termoelectrice: **conf. dr. ing. Costin Moțoiu, ing. Romeo Zbarcea**
Centrale hidroelectrice: **dr. ing. Gheorghe Luca**
Centrale nuclearoelectrice: **ing. Adrian Georgescu, prof. dr. ing. Nicolae Dănilă, ing. Mircea Tarța**
Rețele electrice: **ing. Dinu Voinea, ing. Nicolae Georgian**
Alimentare cu căldură: **ing. Nicolae Niculescu**
Surse și tehnologii noi: **ing. Constantin Popescu**
Tehnologii chimice în energetică. Poluare: **dr. chim. Maria Maftei**
Organizarea producției și a muncii: **ing. Miron Popescu**
Terminologia energetică: **dr. ing. Iosif Cserveny**
Istoria electrificării: **ing. Paul Cartianu**
Noutăți: **ing. Mihai Nistor, ing. Romulus Sfichi**
Centre universitare și industriale:
București: **conf. dr. ing. Alexandru Selischi**
Iași: **prof. dr. ing. Alexandru Poeată**
Timișoara: **prof. dr. ing. Viorel Negru**
Cluj-Napoca: **conf. dr. ing. Silviu Darie**

Acest n măr a fost realizat cu ajutorul următorilor secretari ai grupelor de specialitate:

— **dr. ing. Marius Pomârleanu** — Conducerea și automatica sistemului energetic
— **ing. Anton Roșu** — Centrale termoelectrice
— **dr. ing. Traian -G Ionescu** — Rețele electrice

Revista „ENERGETICA" este editată și administrată de Institutul de Cercetări și Modernizări Energetice prin Oficiul de Informare Documentară pentru Energetică.
Vasile Pleșca — șef OIDE, **Ana Maria Chivu** — redactor

Revista ENERGETICA — publicație lunară, reflectă preocupările spirituale și realizările materiale în domeniul energeticii. Funcționează în conformitate cu *ROF* aprobat cu Ordinul nr. 97/1987, publicat în numărul 4/87 al revistei. Elaboratorii de lucrări propuse pentru publicare sînt rugați să consulte *„Îndrumările pentru întocmirea și prezentarea lucrărilor propuse pentru a fi publicate în revista Energetica"*, *„Ghidul pentru avizarea lucrărilor propuse pentru a fi publicate în revista Energetica"* apărute în numărul 12/86, precum și *„Planul tematic al revistei Energetica pe anii* 1987—1990" publicat în nr. 5/1987 al revistei.

Instituțiile pot achita abonamentele în contul de virament nr. 30.11.8.01.01 — BN R.S.R. fil. sector 3. Costul unui abonament: 144 lei anual; costul unui exemplar: 12 lei.

41 401

ANNOUNCEMENTS FOR READERS ABROAD

- **The review "Energetica" can send on request from publications abroad reports translated in one of the worldwide spoken languages**
- **The review "Energetica" proposes a publication exchange with similar reviews and in relating fields**
- **The review "Energetica" provides and publishes or introduces books on energy received at the editorial office. Reviews and presentations of books sent on this purpose to the editorial office can be published as well**
- **The review "Energetica" publishes on request from authors abroad reports of energy or other materials: technical and scientific news, inventions-innovations, information about technical and scientific symposia, etc. written in one of the worldwide spoken languages**
- **Readers from abroad can subscribe through: ROMPRESFILATELIA — sectorul import-export, P. O. Box 12—501 telex 10376 prsfir, Calea Griviței nr. 64—66, București — România.**

Redacția și administrația: București 79619, Bd. Energeticienilor nr. 8, sect. 3
Telefon: 20.67.30, 21.46.30

Tiparul: Întreprinderea Poligrafică „Informația", București
str. Brezoianu 23—25 c. 2490

ENERGOREPARAŢII

B-dul Mărăşeşti nr 2 sectorul 4 Bucureşti
Telefon 23.26.40 Telex 011635 - Cod poştal 75117

EXECUTĂ PIESE ŞI SUBANSAMBLE DE SCHIMB PENTRU INSTALAŢIILE ENERGETICE

- Turbine cu abur şi turbine hidraulice
- Cazane de abur şi schimbătoare de căldură
- Ventilatoare de aer şi de gaze
- Instalaţii pentru prepararea şi transportul combustibilului
- Generatoare şi motoare electrice

PRODUCE MAŞINI ŞI DISPOZITIVE DE MECANIZARE, DIVERSE SUBANSAMBLE ŞI AGREGATE

- Platforme hidraulice autopurtate, pompe de evacuare a zgurii şi cenuşii, dispozitive de ridicat şi transportat

PRESTEAZĂ SERVICII, ACORDĂ ASISTENŢĂ TEHNICĂ, EXECUTĂ RECONDIŢIONĂRI PENTRU:

- Turbine de mare putere, generatoare şi motoare electrice, cuple hidraulice, armături pentru circuitul de abur, măsurarea vibraţiilor, echilibrări de arbori, analize metalografice şi chimice

E 2039 ETE

MW 10

ZIUA ENERGETICIANULUI

16 octombrie 1988

R 1989 APR 0 1 Referativ

Cuprins

ORIENTĂRI ÎN ENERGETICĂ

GAVRIL NIAC, IOAN POP: **Instalații de gazificare în strat a cărbunilor** 433

ENERGETICA ÎN UNITĂȚI ECONOMICE

ANTON GÂRBACEA: **Analiza comparativă a eficienței energetice privind acționările pneumatice, electrice și hidrostatice la execuția lucrărilor de construcții-montaje energetice** 443

DUMITRU DOBRINESCU, VASILE SOMOGHI, CORNEL PĂTRAȘCU: **Optimizarea generatoarelor de abur recuperatoare de căldură** 448

CONSTANTIN BRĂTIANU, MIHAI MARIUS VORONCA, CORNEL ROTARU: **Analiza cu elemente finite a cîmpurilor termice din semifabricate, la turnarea continuă** 455

CONDUCEREA ȘI AUTOMATICA SISTEMULUI ENERGETIC

MONICA UNGUREANU, GHEORGHE MANEA: **Principii de compensare a puterii reactive în Sistemul Energetic Național. Aspecte privind necesarul de mijloace de compensare a puterii reactive în zona Moldova** 461

CENTRALE NUCLEAROELECTRICE

TRAIAN MAUNA, DORIN CHIRICA, SORIN GHIȚĂ: **Soluție alternativă pentru transportul pieselor grele și agabaritice din CNE** 464

SURSE ȘI TEHNOLOGII NOI

GHEORGHE VOICU, MIHAI LAURIC, MAURICIU TUDOR, CRISTIAN ȚÂNȚĂREANU: **Concepția specificat integrată a unui aerogenerator de medie putere** 468

NOUTĂȚI

DIN ENERGETICA MONDIALĂ 467, 473

RECENZII 442, 476

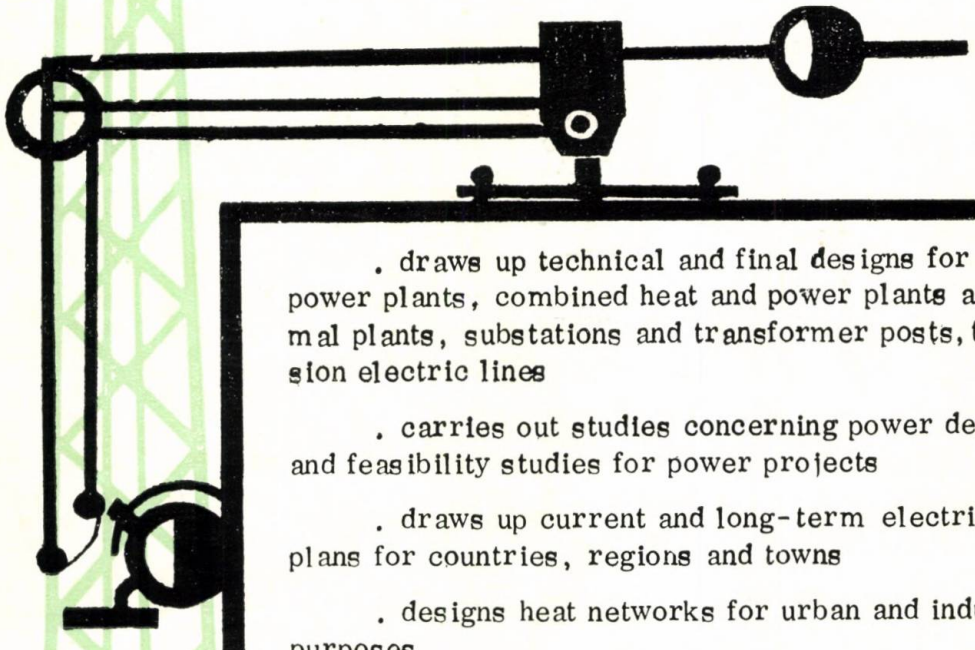
energetica

VOLUMUL XXXVI
BUCUREȘTI
OCTOMBRIE 1988

MINISTERUL ENERGIEI ELECTRICE
INSTITUTUL DE STUDII SI PROIECTĂRI ENERGETICE
ROMANIA, 72301 Bucureşti, sector 2, Bdul Lacul Tei nr. 1
Telegrame : ISPE-Bucureşti, telex : 10978 ispe r, telefon : 107

The Institute for Power Studies and Designs, the specialized body of the Ministry of Electric Energy, carries out studies and designs required for the "development and for the economic and safety operation of the national power system

It co-operates with foreign companies and organizations for specialized works and gives, on demand, all kind of engineering assistance in the power field and :



. draws up technical and final designs for thermal power plants, combined heat and power plants and thermal plants, substations and transformer posts, transmission electric lines

. carries out studies concerning power development and feasibility studies for power projects

. draws up current and long-term electrification plans for countries, regions and towns

. designs heat networks for urban and industrial purposes

. elaborates studies for establishing the power regime and safety operation

. elaborates methodologies and programmes concerning the planning and operation of the power system

. grants technical assistance in the field of analysis and programming.

OMIKK INFORMÁCIÓS KÖNYVTÁR

ENERGETICA

ORGAN AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE ŞI AL CONSILIULUI NAŢIONAL AL INGINERILOR ŞI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

SUB ÎNDRUMAREA CONSILIULUI ŞTIINŢIFIC AL INSTITUTULUI CENTRAL DE CERCETĂRI ENERGETICE

Anul 36 Nr. 10 octombrie 1988

Orientări în energetică

Instalaţii de gazificare în strat a cărbunilor

Prof. dr. chim. GAVRIL NIAC, as. ing. IOAN POP *

Descriptori : gazificarea cărbunilor

Lucrarea prezintă stadiul actual, pe plan naţional şi mondial, al tehnologiilor de gazificare a cărbunilor în strat, identificînd posibilele direcţii de optimizare a acestora. Evaluarea potenţialului gazificării ligniţilor autohtoni s-a efectuat pe baza modelului matematic în condiţii de echilibru termodinamic, permiţînd estimarea calităţii gazului brut şi a eficienţei globale a gazificării. Rezolvarea modelului matematic conduce la determinarea parametrilor de compoziţie şi energetici ai gazificării în funcţie de temperatură, 500—800° C, şi presiune, 1—30 bar, valori uzuale procedeelor de gazificare în strat.

The paper presents the worldwide and indigenous stage of mixed bed coal gasification technologies identifying their possible optimization trends. The gasification potential of indigenous lignites has been evaluated on the basis of mathematical model under conditions of thermodynamic balance enabling the estimation of the crude gas quality and the global gasification efficiency. The solving of the mathematical model leads to the determination of the composition and energetic parameters of gasification depending on the temperature, 500—800°C, and pressure, 1—30 bar, usual values for the mixed bed coal gasification process.

Generalităţi

Prin prisma crizei energetice mondiale apare ca necesară valorificarea superioară prin chimizare a cărbunilor în vederea producerii de gaze combustibile sau de sinteză, care anterior rezultau din ţiţei sau gaze naturale. Preocupările intense din unele ţări ca S.U.A., U.R.S.S., R.F.G., Japonia, ţările Pieţei Comune etc. indică gazificarea şi lichefierea prin hidrogenare a cărbunilor ca direcţii principale [1, 2].

Gazificarea reprezintă procesul termochimic de transformare, pe cît posibil integrală, a masei organice a combustibililor solizi în gaze combustibile sub acţiunea agentului de gazificare, care poate fi : aer, aer îmbogăţit, oxigen, abur, hidrogen, bioxid de carbon sau amestecul acestora.

Un criteriu convenabil de clasificare a tehnologiilor de gazificare în generatoare a cărbunilor se bazează pe modul de realizare a contactului dintre reactanţi, practic în concordanţă cu starea caracteristică a amestecului material solid — agent de gazificare, în procedee în strat, în pat fluidizat şi în pat antrenat.

Prezenta lucrare îşi propune analiza stadiului actual al tehnologiilor de gazificare a cărbunilor în strat, identificarea posibilelor direcţii de optimizare a proceselor, precum şi evaluarea potenţialului gazificării cărbunilor autohtoni pe baza modelului matematic în condiţii de echilibru termodinamic.

* Prof. dr. chim. Gavril Niac, as. ing. Ioan Pop — Institutul Politehnic Cluj-Napoca.

1. Principiul gazificării în strat a cărbunilor

Gazificarea în strat este caracterizată de autonomia termică a procedeului, conferită de arderea unei fracţiuni a cărbunelui în vederea furnizării fluxului termic necesar proceselor endoterme, şi de circulaţia în contracurent a combustibilului solid faţă de agentul de gazificare, respectiv gazul brut.

1.1. Stadiile proceselor termochimice

Gazificarea în strat, spre deosebire de procedeele în pat fluidizat şi antrenat, permite evidenţierea divizării interioare a stadiilor proceselor termochimice complexe (fig. 1).

Cărbunele preîncălzit şi uscat în partea superioară a generatorului, în mişcarea sa descendentă, datorită creşterii temperaturii, este devolatilizat începînd de la 170 — 200°C, în cazul cărbunilor bruni şi ligniţilor, respectiv 300 — 400°C, în cazul huilelor şi semiantraciţilor. Circulaţia în contracurent permite recuperarea, în vederea pregătirii termice a cărbunelui, a unei fracţiuni a căldurii sensibile a gazului brut, care părăseşte generatorul la temperaturi relativ scăzute, variind între 250 — 300°C, în cazul cărbunilor cu reactivitate ridicată şi conţinut ridicat de umiditate, şi 500 — 550°C, în cazul cărbunilor cu reactivitate scăzută şi conţinut redus de umiditate.

Creşterea în continuare a temperaturii cărbunelui în intervalul 600 — 750°C determină suprapunerea, într-o zonă îngustă a devola-

tilizării, cu gazificarea semicocsului anterior obținut. Gazificarea debutează cu reacții favorizate de niveluri termice moderate, în principal reacția de hidrogenare și reacția omogenă de gazificare, la temperaturi într-o corelare inversă cu reactivitatea cărbunelui. Zona de gazificare a semicocsului, caracterizată prin accelerarea reacției eterogene de gazificare și, în domeniul temperaturilor înalte, de reacția Boudouard, este limitată de nivelurile termice minime de 700 — 900°C și maxime de 900 — 1100 °C.

Fluxul termic necesar proceselor endoterme de gazificare este furnizat de arderea semicocsului sau a cocsului nereacționat în zona de combustie, în conformitate cu reacția de oxidare totală sau parțială. Transferul termic se

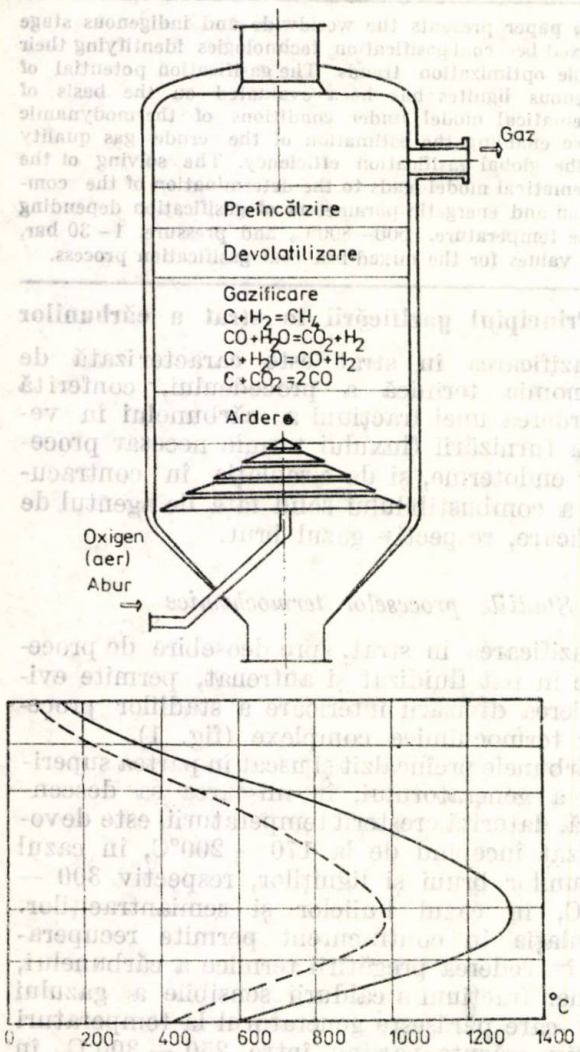


Fig. 1. Stadiile și profilul termic longitudinal al gazificării cărbunilor în strat.

realizează prin circulația ascendentă a gazelor de ardere, care părăsesc zona de combustie la temperatura de circa 1100 — 1300°C, limitate de temperaturi de înmuiere a cenușii. Stratul de cenușă, avînd un conținut redus de carbon nereacționat, aflat la baza generatorului, permite preîncălzirea și distribuirea relativ uniformă a agentului de gazificare — amestec de aer, aer îmbogățit sau oxigen cu abur — introdus prin fantele grătarului.

Durata de staționare a cărbunelui în generator, în vederea conversiei, pe cît posibil integrale, a masei organice, este de circa 0,5 — 1 h, funcție de reactivitatea sa, iar timpul de staționare a componentelor gazoase este de ordinul minutelor.

1.2. Influența caracteristicilor cărbunelui

Tehnologiile de gazificare în strat se pretează la prelucrarea cărbunilor neaglutinați într-o gamă granulometrică ridicată cuprinsă între 5 — 100 mm, limitată în vederea optimizării în sorturi granulometrice restrînse. Desfășurarea gazificării este determinată în primul rînd de proprietățile cărbunelui, caracterizate prin analiza elementară, puterea calorifică, structura chimică și petrografică, tendințele aglutinante și proprietățile tehnologice.

Analiza elementară sau cea tehnică este relevantă pentru întocmirea bilanțului material al gazificării, permițînd aprecierea compoziției gazului brut, a subprodușilor secundari și a componentelor relevante pentru mediul ambiant. Volatilele duc la sporirea conținutului de metan, mărind implicit puterea calorifică a gazului brut, și de hidrocarburi condensabile — gudroane, uleiuri și fenoli. Umiditatea este inclusă în bilanțul material și energetic, influențînd în mod semnificativ randamentul global și avînd o importanță redusă în caracteristicile tehnologice ale cărbunelui. Desfășurarea în condiții optime a proceselor pe considerentul randamentului termic indică, conform testărilor cu cărbune brun de Rin, umidități de 4 — 15%, ceea ce conduce la necesitatea limitării umidității cărbunelui la maximum 30%, în vederea obținerii unei eficiențe acceptabile. Masa minerală necombustibilă prezintă importanță atît datorită faptului că este un balast din punct de vedere energetic, cît și prin prisma temperaturii punctului de înmuiere și a eventualului efect catalitic al componentelor sale. În consecință, cărbuni cu conținut ridicat de cenușă de peste 30% raportat la proba anhidră implică probleme deosebite de operare și o eficiență diminuată a procesului.

De o importanță deosebită este temperatura punctului de înmuiere a cenușii, legată intrinsec de tendințele aglutinante, avînd influențe majore asupra randamentului, modului de operare și de evacuare a acesteia. Cenușile cu temperaturi ridicate de topire, de 1400 — 1500°C, se pretează la evacuarea în stare solidă, fără a ridica probleme de operare, pe cînd cele cu puncte scăzute de topire, 1100 — 1200°C, se evacuează exclusiv în stare lichidă. Cărbunii cu puncte de topire a cenușii de 1200 — 1400°C

prezintă o comportare critică, influențînd modul de exploatare a generatorului datorită necesității introducerii unui moderator termic, în general abur, ceea ce influențează defavorabil randamentul energetic global. Tendințele aglutinante implică mărirea turației grătarului în vederea spargerii bulgărilor de cenușă, determinînd diminuarea grosimii stratului de cenușă și de jar, ceea ce conduce la instabilitatea procesului.

Structura chimică și petrografică determină în mod direct sau indirect capacitatea de reacție a cărbunelui. Cinetica gazificării în strat este în esență determinată de corelarea dintre viteza reacției eterogene de gazificare cu abur și a reacției de hidrogenare comparativ cu difuzia aburului, respectiv a hidrogenului în stratul limită al particulei de cărbune.

Datorită granulației ridicate a cărbunelui, specifice gazificării în strat, proprietățile tehnologice ale acestora nu prezintă importanță deosebită, ideali fiind cărbunii cu friabilitate redusă, evitîndu-se fărîmițarea la extracție, transport și în interiorul generatorului.

1.3. Influența agentului de gazificare

Gazificarea în strat utilizează aproape în exclusivitate ca agent de gazificare amestec de aer, aer îmbogățit sau oxigen cu abur, caracteristic pentru desfășurarea procesului fiind debitul specific al oxigenului și raportul abur/oxigen.

Debitul oxigenului determină productivitatea generatorului pe baza echivalenței fluxului termic furnizat de ardere cu cel necesar proceselor endoterme de gazificare, constituind principalul element de control al debitului gazului brut. Reactivitatea cărbunelui fiind într-o corelare inversă cu temperatura de desfășurare a procesului implică rate de oxigen într-un raport invers. Cărbuni cu reactivitate ridicată necesită o rată a oxigenului de circa 0,125 m^3/m^{3*} gaz anhidru, iar cei cu reactivitate scăzută debite majorate de circa 0,2 m^3/m^{3*} gaz anhidru. Influență majoră asupra compoziției gazului brut o are calitatea oxidantului, practic gradul de îmbogățire în oxigen al acestuia în vederea diminuării, eventual eliminării, azotului din gazul brut.

Deși aburul este reactantul principal al agentului de gazificare, în conformitate cu reacția eterogenă de gazificare, debitul acestuia nu este determinat pe baza bilanțului material și termic, ci de necesitatea diminuării temperaturii stratului de cenușă sub limita de înmuiere. În consecință, aburul introdus în exces apare ca un moderator termic al cenușii. Raportul abur/oxigen este determinat de proprietățile fuzibile ale cenușii și de reactivitatea cărbunelui, avînd valori de 6 — 10 m^3/m^{3*} în cazul evacuării în stare solidă a cenușii. De remarcat consumul ridicat de abur, cu efecte defavorabile asupra bilanțului energetic global al gazificării în strat, întrucît cea mai mare parte a acestuia părăsește generatorul nedescompus. În vederea înlăturării acestei deficiențe a fost dezvoltată tehnologia British-Gas-Lurgi, care datorită băii de zgură topită permite reducerea raportului abur/oxigen la circa 1/1m^3/m^{3*}.

* m^3 în condiții normale de temperatură și presiune.

2. Tehnologii de gazificare a cărbunilor în strat

Tehnologiile de gazificare a cărbunilor în strat fix sau rotativ constituie soluția constructivă cea mai simplă, atît în ceea ce privește generatorul, cît și echipamentele auxiliare de preparare a cărbunelui și tratare a gazului brut.

Din punct de vedere constructiv, gazogenele în strat sînt recipiente cilindrice verticale cu manta dublă de răcire, eventual protejate termorefractar în interior, prevăzute la bază cu sistemul de evacuare a cenușii și de admisie a agentului de gazificare, respectiv în partea superioară cu camera de alimentare a cărbunelui și racordul de colectare al gazului brut. Funcție de etapa evolutivă a generatorului și parametrii de operare, acestea sînt prevăzute cu grătare fixe sau rotative, cu sisteme de alimentare sau evacuare cu ecluză dublă, agitator interior sau cu racorduri de colectare diferențiată a gazului brut.

2.1. Gazogene în strat la presiune normală

Generatoarele în strat la presiune normală, răspîndite în perioada interbelică, unele fiind în stare de funcționare, marchează o adevărată reactualizare, fiind construite noi variante bazate pe acest principiu.

Gazogenele la presiune normală au diametrul interior de 2 — 4 m, prelucrînd zilnic 20 — 80 t cărbune în vederea obținerii unei producții de 25 000 — 100 000 m^{3*} gaz brut, valori sensibil diminuate față de cele ale generației a II-a, ceea ce determină utilizarea acestor generatoare în cazul micilor consumatori. Din punct de vedere constructiv principalele tipuri reprezentative pot fi grupate în generatoare cu grătar fix — varianta cea mai simplă — sau cu grătar rotativ, cu extragerea cenușii printr-o baie de apă — varianta Riley-Morgan sau Ghiproang—sau prin intermediul unui buncăr, conform variantei Wellman-Galusha.

2.2. Generatoare în strat cu recircularea gudroanelor

Obținerea prin intermediul gazificării în strat a unui gaz combustibil cu conținut diminuat de subprodusi secundari — în vederea descompunerii termice a acestora —, precum și cu un conținut redus de metan, utilizabil

* m^3 în condiții normale de temperatură și presiune.

ca materie primă în chimie, este realizabilă prin prelevarea diferențiată a „gazului curat" direct din zona de gazificare, respectiv a gazului de cocsificare prin partea superioară a generatorului.

Gazul de cocsificare, după o prealabilă purificare, este amestecat cu „gazul curat", conform procedeului Foster-Wheeler [4], prezentat în figura 2 *a*, respectiv recirculat în zona de gazificare sau de ardere în cazul generatorului Kohle-Gas-Nordrhein, prezentat schematic în figura 2*b*. În consecință, gazificarea cărbunilor decurge în două stadii, fiind o combinație între semicocsificarea cărbunelui, desfășurată în partea superioară a generatorului și gazificarea semicocsului de la baza gazogenului.

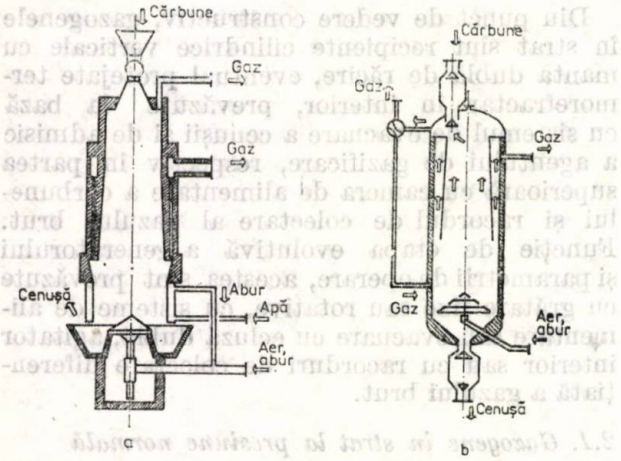


Fig. 2. Generatoare în strat cu recircularea gudroanelor: a — generatorul Foster-Wheeler; b — generatorul Kohlegas-Nordrhein.

2.3. Gazificarea în strat sub presiune

Tehnologiile reprezentative pentru gazificarea sub presiune sînt: procedeul clasic Lurgi și variantele evolutive ale acestuia: generatorul Lurgi-Ruhr 100 și tehnologia British-Gas-Lurgi, prezentate schematic în figura 3. Operarea sub presiune conferă gazificării în strat avantaje importante, constînd în mărirea productivității generatorului, în favorizarea transferului de masă și căldură, precum și în îmbunătățirea calității gazului brut datorită majorării ponderii metanului determinată de favorizarea reacției de metanare, care, datorită caracterului slab exoterm, are efecte pozitive asupra eficienței procesului.

Generatorul Lurgi, prezentat schematic în figura 3*a*, este un recipient cilindric vertical, ale cărui variante actuale Mark IV are un diametru interior de 3850 mm și o productivitate orară de 45 — 50 t cărbune în vederea obținerii a 60 000 m³* gaz, respectiv modelul Mark V cu diametrul interior de 4700 mm, avînd capacitatea orară de gazificare a 75 t cărbune

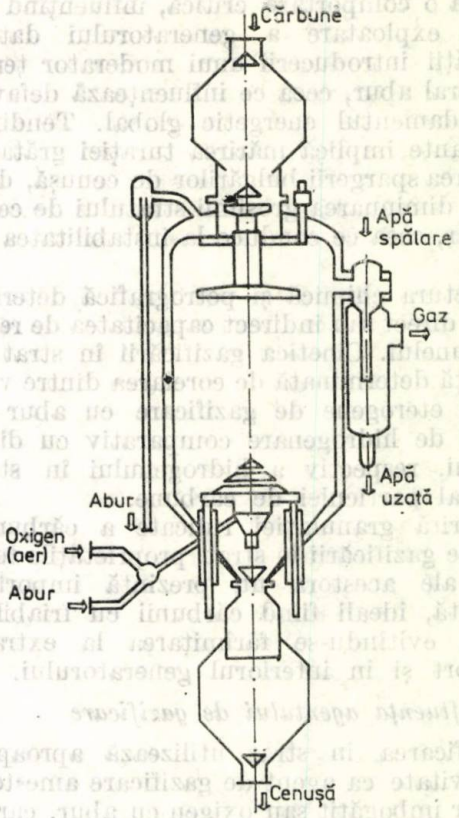


Fig. 3*a*. Generatorul Lurgi.

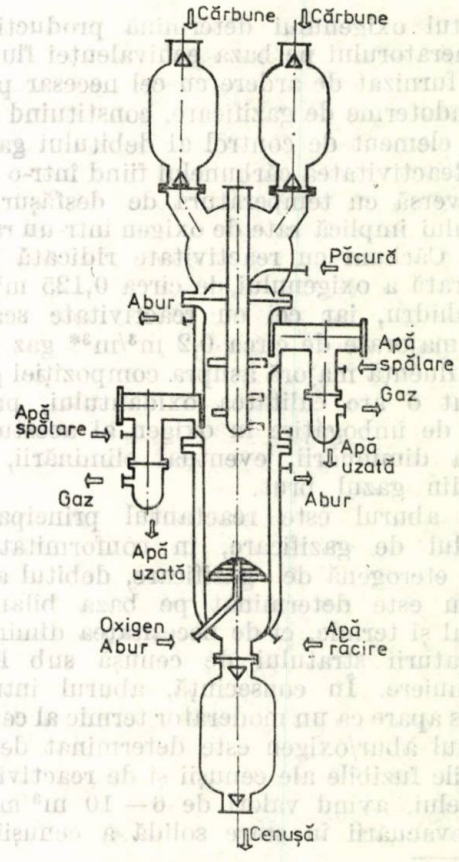


Fig. 3*b*. Generatorul Lurgi-Ruhr 100.

* m³ în condiții normale de temperatură și presiune

producînd 100 000 m³* gaz. Generatorul este prevăzut cu ecluze duble la alimentarea cărbunelui, respectiv evacuarea cenușii și cu un agitator necesar asigurării permeabilității adecvate a stratului de combustibil [5, 6, 7].

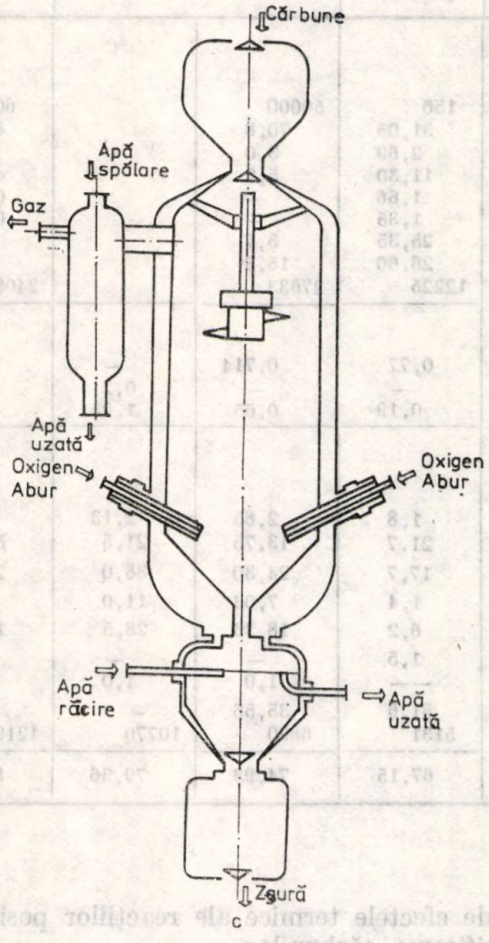


Fig. 3c. Generatorul British-Gas-Lurgi.

Generatorul Lurgi-Ruhr 100, prezentat în figura 3*b*, constituie o treaptă evolutivă a generatorului clasic reproiectat pentru presiuni de pînă la 100 bar, în vederea majorării producției specifice și a calității gazului brut, fiind rezultatul colaborării firmelor Ruhrgas A. G., Ruhrkohle A.G. și Steag A.G., pe baza experienței furnizate de Lurgi-Mineralöltechnik GmbH. Concepția constructivă este similară variantei clasice, avînd ca principale modificări racordurile diferențiate de colectare a „gazului curat" și a celui de devolatilizare [8, 9].

Bazat pe principiul gazificării Lurgi, în vederea reducerii consumului aburului și a posibilității prelucrării cărbunilor aglutinanți, a fost dezvoltat generatorul British-Gas-Lurgi, caracterizat prin baia de zgură topită, determinată de temperaturile ridicate de 1250 — 1350°C. Generatorul este similar variantei clasice cu modificarea camerei de evacuare a zgurii în stare lichidă și a sistemului de insuflare a agentului de gazificare constînd din mai multe ajutaje prevăzute în zona de ardere [10].

Tehnologiile de gazificare prezentate evidențiază avantajele procedeelor în strat determinate de randamentul termic relativ ridicat conferit de recuperarea în proces a unei fracțiuni a căldurii sensibile a gazului brut la preîncălzirea cărbunelui, respectiv a cenușii, în vederea preîncălzirii agentului de gazificare, în condițiile unui grad ridicat de conversie a carbonului determinat de reziduurile reduse nereacționate evacuate în cenușă. Este de remarcat calitatea gazului brut conferită de ponderea metanului în condițiile utilizării oxigenului în agentul de gazificare, precum și productivitatea specifică ridicată a generatorului evidențiată de operarea sub presiune.

Principalii parametri de compoziție și energetici caracteristici gazificării în strat, conform testelor autohtone și datelor furnizate de bibliografia de specialitate, sînt prezentate în tabelul 1.

3. Modelarea gazificării în strat în condiții de echilibru termodinamic

În vederea determinării teoretice a potențialului gazificării ligniților autohtoni, practic estimarea calității gazului brut și a eficienței producerii acestuia, factori fundamentali necesari calculelor preliminare tehnico-economice de implementare a gazificării, este necesară stabilirea criteriilor de modelare la echilibru a gazificării cărbunilor. Analiza posibilităților gazificării implică determinarea influențelor condițiilor de operare, practic a parametrilor termici, de presiune, fizico-chimici și cinetici asupra compoziției gazului brut, a consumului specific de cărbune și agent de gazificare, precum și estimarea eficienței procedeului caracterizată prin conversia chimică și randamentul termic.

Modelarea matematică se bazează pe starea inițială — cărbune, agent de gazificare — și starea finală — gaz de generator, cenușă — neglijîndu-se stările intermediare, deci implicit cinetica proceselor complexe fizico-chimice. Principial, prin combinarea relațiilor specifice bilanțului material și energetic cu relațiile setului echilibrelor chimice necesare și suficiente pentru descrierea termodinamică a sistemului reactant, este posibilă determinarea compoziției gazului de generator, a consumului specific de cărbune și de agent de gazificare, funcție de principalii parametri care influențează procesul: temperatura și presiunea [11].

* m³ în condiții normale de temperatură și presiune.

Tabelul 1

Principalii parametri funcţionali şi de compoziţie ai gazificării cărbunilor în strat

	U.M.	Valori				
		presiune [1]) normală	sub [2]) presiune	Lurgi		British-Gas-Lurgi
Parametrii intraţi						
Cărbune:						
— debit	kg/h	350	150	50000		600
— compoziţie: C	%	25,84	31,05	70,8		40,6
H	%	2,34	2,69	3,0		6,9
O	%	10,71	11,30	5,2		44,7
N	%	0,42	1,66	—		0,5
S	%	1,85	1,35	—		0,8
W	%	43,60	25,35	5,7		—
A	%	13,24	26,60	15,3		6,5
— putere calorifică inferioară	kJ/kg	8561	12225	27633		24082
Agent de gazificare						
— aer	kg/m³* gaz	0,81	0,77	0,714	—	—
— oxigen	kg/m³* gaz	—	—	—	0,2	0,23
— abur	kg/m³* gaz	0,1	0,19	0,65	1,05	0,15
Parametrii ieşiţi						
Gaz de generator:						
— debit	m³*/kg căr.	1,25	1,8	2,85	2,13	1,74
— compoziţia CO^{anh}	%	23,5	21,7	13,75	21,5	54,4
H_2^{anh}	%	12,8	17,7	24,30	38,0	28,5
CH_4^{anh}	%	3,2	1,4	7,03	11,0	6,1
CO_2^{anh}	%	7,7	6,2	18,36	28,5	10,5
O_2^{anh}	%	0,2	1,5	—	—	—
H_2S^{anh}	%	0,3	— —	1,0	1,0	0,1
N_2^{anh}	%	50,7	51,6	35,56	—	0,4
— putere calorifică inferioară	kJ/m³*	5606	5131	6890	10770	12190
Randament termic	%	66,04	67,15	74,93	79,36	81,4

1) teste I.C.S.I.T.E.E. Bucureşti;
2) teste I.C.S.I.T.E.E. filiala Cluj-Napoca.

Starea iniţială este determinată de analiza elementară şi de debitul specific al cărbunelui pentru proba anhidră, precum şi de compoziţia şi debitul specific al agentului de gazificare care s-a considerat amestec de aer sau oxigen cu abur. Starea finală este descrisă de constituienţii gazului brut, permiţînd stabilirea bilanţului material al elementelor chimice.

În vederea descrierii echilibrului termodinamic au fost adoptate reacţiile chimice ale carbonului pur — reacţia Boudouard, reacţia eterogenă de gazificare şi reacţia de hidrogenare — constantele de echilibru fiind determinate funcţie de temperatura şi presiunea de operare.

Avînd în vedere autonomia termică a procedeelor de gazificare în strat, conferită de arderea unei fracţiuni a cărbunelui ca suport termic al proceselor endoterme de gazificare, modelul matematic necesită utilizarea bilanţului energetic al gazificării. În esenţă, bilanţul termic permite determinarea raportului abur/oxigen pe baza echivalenţei efectului termic al reacţiei endoterme de gazificare eterogene cu reacţia exotermă de oxidare, ţinînd cont şi de efectele termice ale reacţiilor posibile la gazificarea cărbunilor.

Considerentele prezentate permit determinarea sistemului de ecuaţii neliniare care modelează matematic comportarea la echilibru a generatoarelor în strat. Avînd în vedere necesitatea analizei influenţei temperaturii şi presiunii de operare asupra proceselor complexe care apar la gazificarea cărbunilor rezultă obligativitatea rezolvării sistemului pentru gama temperaturilor şi presiunilor uzuale generatoarelor în strat, ceea ce implică utilizarea calculatorului electronic.

Pe baza modelului matematic anterior prezentat s-au determinat parametrii caracteristici gazificării în strat a lignitului de Rovinari, avînd analiza elementară: C^i 24,72%, H^i 2,24%, S^i 1,21%, N^i 0,55%, O^i 11,39%, A^i 16,11% şi W^i 43,78%. Principalii parametri de compoziţie furnizaţi de modelarea matematică în condiţii de echilibru pentru domeniul de temperaturi de 500 — 800°C şi de presiuni de 1 — 30 bar sînt prezentaţi în figura 4 în cazul utilizării ca agent de gazificare a amestecului

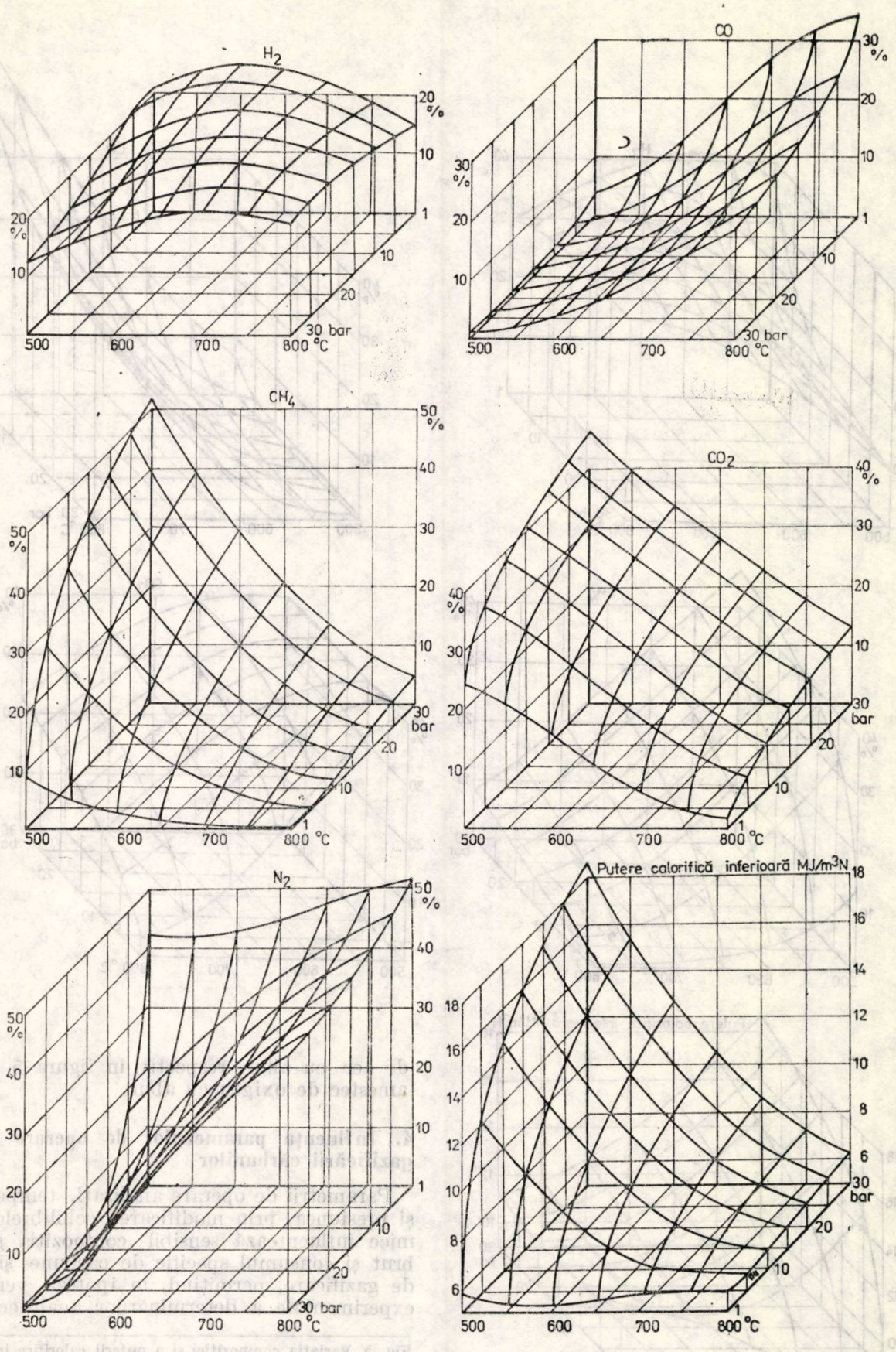
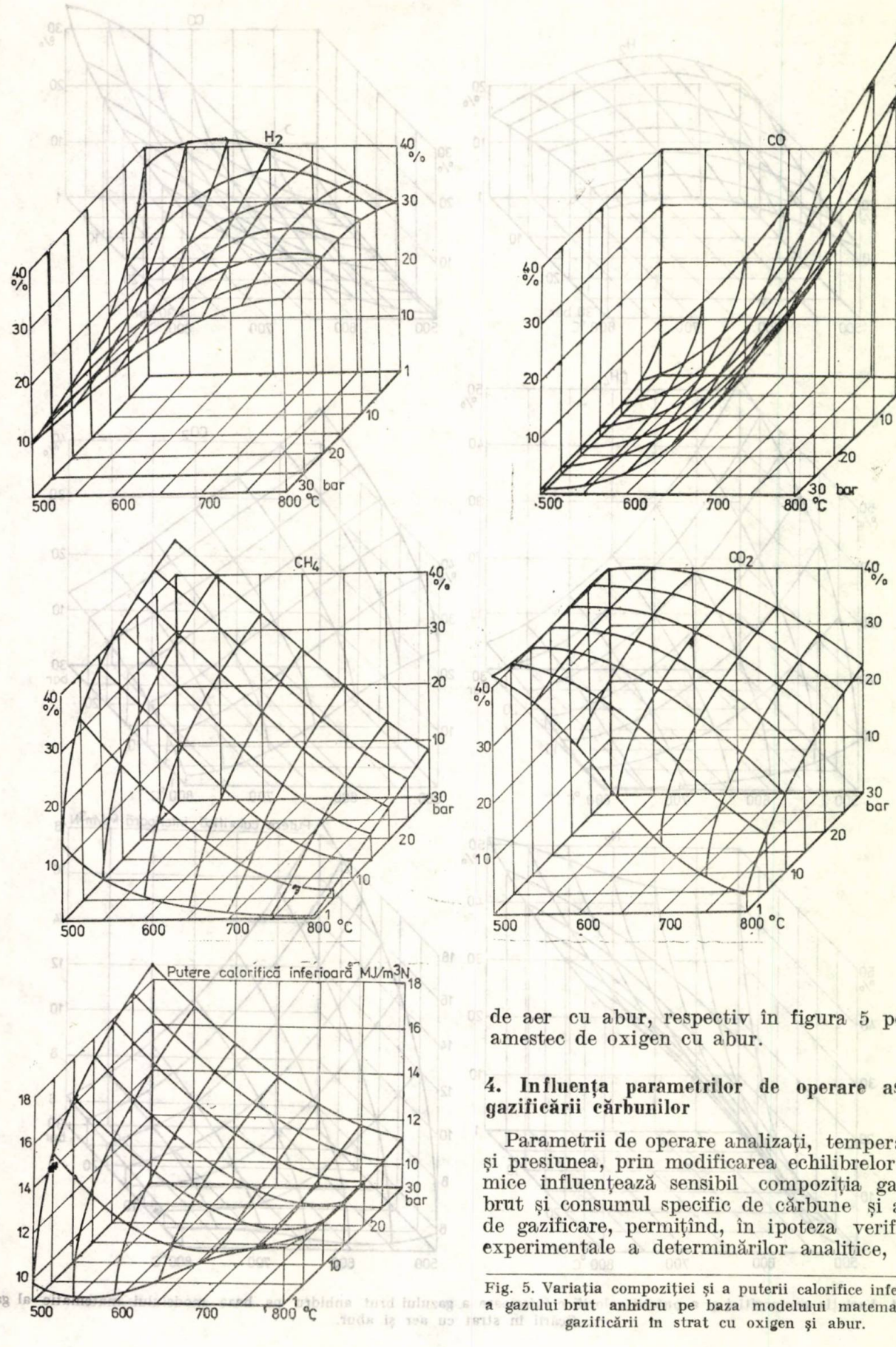


Fig. 4. Variația compoziției și a puterii calorifice inferioare a gazului brut anhidru pe baza modelului matematic al gazificării în strat cu aer și abur.



de aer cu abur, respectiv în figura 5 pentru amestec de oxigen cu abur.

4. Influența parametrilor de operare asupra gazificării cărbunilor

Parametrii de operare analizați, temperatura și presiunea, prin modificarea echilibrelor chimice influențează sensibil compoziția gazului brut și consumul specific de cărbune și agent de gazificare, permițînd, în ipoteza verificării experimentale a determinărilor analitice, con-

Fig. 5. Variația compoziției și a puterii calorifice inferioare a gazului brut anhidru pe baza modelului matematic al gazificării în strat cu oxigen și abur.

ducerea proceselor termochimice spre produşii finali doriţi.

Variaţia temperaturii are influenţe majore datorită deplasării echilibrelor chimice, creşterea temperaturii favorizînd reacţia Boudouard şi reacţia eterogenă de gazificare, respectiv defavorizînd reacţia de hidrogenare. Creşterea temperaturii determină majorarea sensibilă a conţinutului oxidului de carbon şi a azotului — în cazul gazificării cu amestec de aer şi abur — în detrimentul ponderii metanului şi a bioxidului de carbon, respectiv variaţii relativ reduse ale conţinutului hidrogenului. Conţinutul ridicat de azot din gazul brut anhidru de pînă la 50 — 55% evidenţiază avantajele utilizării oxigenului, datorită calităţii superioare a gazului brut mai ales în cazul transportului la distanţă sau al utilizării sale energetice sau ca materie primă pentru industria chimică. Modificarea compoziţiei gazului brut implică influenţe directe asupra puterii calorifice inferioare a acestuia. Majorarea temperaturii determină reducerea sensibilă a puterii calorifice inferioare a gazului brut, evidentă în cazul presiunilor ridicate de operare, datorită corelării inverse a conţinutului metanului cu temperatura.

Datorită deplasării echilibrelor chimice, variaţia presiunii influenţează parametrii gazificării prin favorizarea, cu majorarea acesteia, a reacţiei de hidrogenare a carbonului şi a oxidului de carbon, defavorizînd reacţia Boudouard şi reacţia eterogenă de gazificare. Creşterea presiunii determină majorarea accentuată a conţinutului metanului în detrimentul ponderii hidrogenului şi oxidului de carbon. Este de menţionat majorarea sensibilă a umidităţii gazului brut determinată de creşterea presiunii de operare, cu efecte negative asupra randamentului termic al gazificării. Influenţa presiunii de operare asupra compoziţiei gazului brut are implicaţii şi în cazul puterii calorifice, într-o corelare directă cu presiunea datorită majorării conţinutului metanului.

Eficienţa gazificării, prin prisma modificării echilibrelor reacţiilor termochimice funcţie de parametrii de operare, este influenţată indirect de variaţia compoziţiei şi a puterii calorifice a gazului brut produs, precum şi a consumului specific al carbonului. Eficienţa conversiei chimice — definită ca raportul căldurilor chimice ale gazului brut şi cărbunelui consumat — variază direct cu temperatura, în cazul presiunilor scăzute, respectiv invers pentru presiuni ridicate. Implicit, eficienţa conversiei chimice este într-o dependenţă directă cu presiunea, creşterea acesteia fiind accentuată în cazul temperaturilor scăzute comparativ cu nivelurile termice ridicate. Randamentul termic al generatorului prezintă o dependenţă faţă de parametrii de operare similară eficienţei chimice, care practic determină variaţia randamentului.

Concluziile definitive ale modelului matematic necesită corelarea cu analiza cineticii proceselor fizico-chimice complexe ce apar la gazificarea cărbunilor, urmînd a fi verificate pe baza determinărilor experimentale. De remarcat că funcţionarea reală a generatorului diferă de cea teoretică deoarece cărbunele nu este alcătuit din elemente chimice pure, ci din combinaţii complexe ale acestora, atît în masa organică, cît şi în masa minerală necombustibilă — care poate avea un efect catalitic, datorită faptului că gazul brut conţine subproduşi secundari — hidrocarburi condensabile ca : gudroane, uleiuri şi fenoli, cît şi datorită influenţei factorilor fizici — viteza, granulaţia, porozitatea, gradienţii termici etc. De asemenea, cinetica proceselor termochimice nu permite, în cazul real al generatorului, atingerea echilibrului chimic.

Concluzii

Sinteza stadiului actual al gazificării în strat a cărbunilor indică preocupările intense existente în acest domeniu în vederea valorificării superioare a cărbunilor în scopul de a transfera asupra combustibililor solizi parte din rolul actual al hidrocarburilor lichide şi gazoase.

Direcţiile de dezvoltare a procedeelor de gazificare constau în utilizarea, pe cît posibil integrală, a întregii game calitative de cărbune, de creştere a temperaturii şi presiunii de operare, de divizare în două sau mai multe etape a proceselor termochimice complexe, precum şi în recoltarea diferenţiată a diferitelor calităţi de gaz brut. Scopul fundamental constă în creşterea gradului de conversie a carbonului şi implicit a eficienţei globale a procesului, în mărirea productivităţii specifice a generatorului în condiţiile obţinerii calităţii dorite a gazului brut. În vederea realizării acestor deziderate trebuie menţionată investiţia ştiinţifică şi inginerească necesară, conducînd la optimizarea gazificării cărbunilor, spre a fi competitivă în viitor cu sursele energetice convenţionale.

Bibliografie

[1] Teegers, H., Jüntgen, H. *Stand der Kohlever gasung zur Erzeugung von Brenngas und Synthesegas* In : Erdöl und Kohle-Erdgas-Petrochemie, nr. 4, 1984

[2] Niac, G., Czibula, R. *Instalaţii de gazificare şi lichefiere a cărbunilor.* In : Ştiinţa modernă şi energia, vol. III, Dezvoltarea producţiei de energie. Editura Dacia, Cluj-Napoca, 1984.

[3] Mihăileanu, C. *Conservarea energiei, cerinţă imperativă de mare actualitate.* In : Energetica, 27, 1979, nr. 7—8, p. 320—324.

[4] Broecker, R. *On-site coal gasification, one answer to uncertain fuel supplies: make your own gas on-site.* In: Heating/Piping/Air Conditioning, nr. 4, 1980.

[5] Stearns-Rogers-Incorporation. *Coal gasification, the Lurgi process.*

[6] Mottitschka, W. *Ergebnisse des Forschungsprogramms zur Kohlenfestvergasung.* În: Energietechnik, vol. 32, nr. 6, 1982.

[7] Pop, I. *Tehnologia de gazificare Lurgi, tendințe de dezvoltare și optimizare.* Conferința națională de instalații, Sinaia, 1985.

[8] Röbke, G. *Weiterentwicklung des Lurgi-Druckvergasungverfahrens.* In: Haus der Technik, vol. 405, Essen, 1980.

[9] Lohmann, C., Peyrer, H. P. *Ruhr-100, the further development of the Lurgi gasifier at Dorsten.* Symposium on coal refining proceedings, Edmonton, 1978.

[10] Sondreal, E. A. *Utilization potential for low-rank U.S. coals in liquefaction and gasification.* Pennsylvania State University, 1979.

[11] Niac, G., Pop, I. *Modelarea gazificării cărbunilor în condiții de echilibru termodinamic.* In: Revista de chimie, nr. 1, 1988.

(Primit la 5 februarie 1988, acceptat la 3 mai 1988)

NOUTĂȚI

Recenzie

ANTONIU, I.S., MIHĂILEANU, C. **Constantin I. Budeanu.** Editura Enciclopedică, colecția „Savanți români" București, 1987, p. 128.

Apariția lucrării cu titlul de mai sus în colecția „Savanți români" a Editurii Enciclopedice a fost prilejuită de centenarul nașterii academicianului Constantin I. Budeanu (1886 — 1959) — savant, profesor și inginer român, înaintaș de seamă al școlii electroenergetice românești.

Autorii, foști colaboratori apropiați ai academicianului Constantin I. Budeanu și care s-au bucurat de stima și încrederea sa, au reușit să elaboreze o monografie asupra vieții și operei cunoscutului inginer, care nu constituie numai un omagiu adus omului de știință, dar și o documentată și solid argumentată dovadă a priorității mondiale a științei și tehnicii românești în domeniul fenomenelor electromagnetice reactive și deformante, de care s-a ocupat în cea mai mare parte a vieții sale savantul.

Cartea, structurată pe trei capitole și trei anexe, reușește să prezinte sintetic nu numai viața și activitatea științifică a lui Constantin I. Budeanu (cap.1) și bibliografia operelor sale (cap. 3), ci și evoluția și stadiul actual al studierii regimului deformant în sistemele electroenergetice.

Cartea este o autentică contribuție la cunoașterea lucrărilor prioritare ale lui C.I. Budeanu și a școlii românești create de savantul român în domeniul energetic deformant, a actualității acestor lucrări pentru stadiul prezent de dezvoltare a sistemelor electroenergetice caracterizate, printre altele, de proliferarea receptoarelor cu caracteristică volt-amper pronunțat neliniară, generatoare de regim deformant (electronica de putere, tracțiune electrică, chimie, metalurgie etc.). Astfel, la peste șase decenii de la apariția lucrării fundamentale a lui C.I. Budeanu „Puissances réactive et fictives", aceasta își păstrează atît importanța, cît și actualitatea.

O recunoaștere oficială a unor noțiuni preconizate de profesorul Constantin I. Budeanu nu poate fi decît o nouă afirmare a geniului creator românesc și un omagiu adus memoriei acestui distins fiu al patriei noastre.

C.I. Budeanu însuși, precum și elevii și colaboratorii săi (printre care mai ales regretatul profesor-doctor docent inginer I.S. Antoniu m.c. al Academiei R.S.R.), au continuat, aprofundat și dezvoltat studiul regimului deformant, ajungînd la conturarea și cristalizarea unei teorii unitare, incluzînd și elaborarea instrumentelor de măsură capabile să măsoare mărimile caracteristice ale regimului deformant (D-metru, C-metru și PQD-metru).

Se poate vorbi așadar cu legitim temei de o veritabilă școală românească în acest domeniu, inițiată și creată de C.I. Budeanu, pionier pe plan mondial, cu drept de prioritate absolută. Faptul că și în zilele noastre mai apar lucrări care reiau mereu de la început și se rediscută chestiuni care ar trebui considerate a fi fost puse la punct cu mulți ani în urmă, atît din punct de vedere teoretic, cît și practic de către C.I. Budeanu și colaboratori, se datorează insuficientei cunoașteri a lucrărilor prioritare aparținînd savantului român și școlii românești create de către acesta. Fără îndoială că problema regimului deformant nu poate fi considerată încheiată din punct de vedere teoretic și mai ales practic, industrial. Ea mai are încă multe fațete de elucidat și/sau de aprofundat.

Implicațiile regimului deformant asupra sistemelor energetice ca și prejudiciile aduse, resimțite astăzi în stadiul dezvoltării acestor sisteme, confirmă strălucit clarviziunea lui C.I. Budeanu, care a atras atenția lumii științifice și tehnice asupra acestor probleme într-o etapă în care evoluția și dezvoltarea sistemelor energetice nu reclamau necesitatea unei soluționări imediate.

Astăzi, problemele regimului deformant au fost reluate de CIGRE atît în cadrul Comitetului de Studii nr. 14 (Transportul energiei electrice în curent continu), cît și în Comitetul nr.36 (Perturbații).

Este neîndoielnic faptul că, pe măsură ce efectele nocive ale regimului deformant prin „poluarea armonică" vor deveni tot mai supărătoare pentru sistemele electroenergetice, consumatorii deformanți vor trebui detectați și obligați să suporte daunele cauzate celorlalți consumatori nedeformanți sau să adopte măsurile de remediere în propriile instalații pentru îndepărtarea lor — elemente ce vor trebui incluse în contractele de furnizare a energiei electrice.

În sistemul prescripțiilor și normativelor Ministerului Energiei Electrice din țara noastră există reglementări care privesc căile de depistare și diminuare a efectelor dăunătoare ale regimului deformant (PE 143/80— Normativ pentru limitarea regimului deformant, PE 120/85 — Instrucțiuni privind compensarea puterii reactive în rețelele electrice de distribuție și la consumatorii industriali și similari, PE 124/85 — Normativ privind alimentarea cu energie electrică a consumatorilor industriali și similari ș.a.). Toate aceste acte normative sînt fundamentate pe conceptul emis de C.I. Budeanu privind fenomenele reactive și deformante în instalațiile electroenergetice.

În final, apreciem ca deosebit de binevenită lucrarea privind contribuția românească originală la soluționarea fenomenelor reactive și deformante, prin punerea în adevărata ei lumină și valoare a operei profesorului Constantin I. Budeanu — fondator de școală electroenergetică, distinsă personalitate a științei și tehnicii românești și mondiale.

Ing. Romulus Sfichi

Analiza comparativă a eficienței energetice privind acționările pneumatice, electrice și hidrostatice la execuția lucrărilor de construcții – montaje energetice

Dr. ing. ANTON GÂRBACEA *)

Descriptori: acționări, lucrări de construcții și montaj

Eficiența energetică a utilajelor și dispozitivelor utilizate pentru mecanizarea și automatizarea proceselor de lucru din cadrul lucrărilor de construcții și montaje energetice, este un indicator tehnico-economic deosebit de util și important astăzi.

Articolul conține studii și cercetări ale eficienței energetice privind mijloacele de mecanizare la realizarea lucrărilor de construire a liniilor electrice aeriene. Aceasta oferă criterii definitorii întregului sector de construcții și montaje energetice.

Se efectuează determinări comparative ale eficienței energetice caracteristice acționărilor pneumatice, electrice și hidrostatice. Acestea se pot aplica totodată și la dispozitivele acționate, exemplificîndu-se cu mașinile de înșurubat la moment controlat utilizate la asamblarea stîlpilor din metal.

Rezultă în concluzie că acționarea hidrostatică este cea mai avantajoasă din punct de vedere energetic. Se prezintă și realizări originale în domeniu: brevetele România 79.569, 80.724 și 80.725 obținute în cadrul Trustului Antrepriză Generală Electromontaj București. Sînt evidențiate caracteristicile tehnice ale acestora, care demonstrează necesitatea extinderii utilizării utilajelor și dispozitivelor acționate astfel.

The power efficiency of the facilities and devices employed for the mechanization and automation of activities within power construction and erection works is a highly useful and important technical and economic parameter at present.

The paper contains power efficiency studies and research results regarding mechanization means for the overhead lines constructions works. It offers at the same time main criteria for the entire energy construction and erection branch.

Comparative determinations of the power efficiency pertaining to pneumatic, electrical and hydrostatic drivings are carried out. These means can be applied at the same time to the actuated devices. This fact is demonstrated on the example of controlled moment winding machines used in metal towers assembling.

It can be thus concluded that the hydrostatic actuation is the most suitable one from the energetic point of view. Some original achievements in this field are presented, i.e. the Romanian patents 79, 569; 80, 724; 80, 725 granted to the General Trust Electromontaj, Bucharest. Their general characteristics are outlined which demonstrate the necessity to extend the use of the facilities and devices actuated thus.

În sectoarele de construcții și montaje energetice, pînă în prezent nu au fost efectuate pe larg determinări ale eficienței energetice privind acționările necesare proceselor de mecanizare și automatizare ale lucrărilor din șantiere. Trebuie precizat încă de la început că în literatura tehnică de specialitate existentă nu se întîlnesc date cuprinzătoare referitoare la eficiența energetică comparativă a acționărilor pneumatice, electrice și hidrostatice evaluate și pînă la nivelul dispozitivelor și mecanismelor de lucru. A reieșit, în consecință, importanța și necesitatea cunoașterii acestui parametru energetic, în scopul utilizării cît mai judicioase, în practică, a dotărilor necesare pentru mecanizarea complexă și automatizarea proceselor de lucru. Avînd în vedere aceste considerente au fost întreprinse studii și cercetări cu scopul stabilirii eficienței energetice a acționărilor utilizate în prezent la construcția liniilor electrice aeriene (LEA). Dispozitivele de lucru acționate la care s-a extins analiza acestei eficiențe sînt mașinile de înșurubat, întrebuințate în principal la asamblarea stîlpilor metalici ai liniilor de transport de energie electrică.

Principalul obiectiv al acestei analize comparative a fost stabilirea celei mai corespunzătoare și economicoase acționări la mecanizarea lucrărilor de construcție a LEA. Concluziile obținute pot oferi aprecieri definitorii, privitoare la acționări, la gama dispozitivelor de lucru utilizate în prezent pe șantierele de construcții și montaje energetice. Acestea au la bază criteriul de clasificare obținut în funcție de eficiența energetică în producție a celor trei acționări, și anume: pneumatică, electrică și hidrostatică, precum și a dispozitivelor de lucru specifice fiecăreia din aceste acționări. Au fost utilizate numai mașini de înșurubat care în principal sînt prevăzute cu mecanisme de strîngere diferite, și anume: prin impact sau șocuri și cu strîngere continuă. Acestea, însă, în procesul productiv trebuie să permită obținerea unei strîngeri a șuruburilor la moment controlat și o precizie a cărei abatere să fie de maximum $\pm 1\%$. Astfel, în acest cadru s-au urmărit mai ales utilajele caracteristice montajelor mobile specifice construcției LEA, care au mare mobilitate și sursă de energie independentă. Normal, aceste instalații sînt exploatate în aer liber, tributare factorilor climatici, și sînt transportabile în șantiere.

* Dr. ing. Gârbacea Anton – Antrepriza Electromontaj Sibiu

Determinarea eficienței energetice la nivelul dispozitivului de lucru, în cazul de față mașina de înșurubat, și funcție de felul acționării se prezintă astfel:

1. Acționarea pneumatică

În principal interesează utilajele care furnizează agentul pneumatic, și anume compresoarele. Acestea ajung să funcționeze în șantiere, cu parametri de intrare ce pot diferi cu valori sensibile. Vom exemplifica acestea numai privitor la presiune și puterile consumate:

— presiunea atmosferică normală, 1,01325 bar la 0° C și deci 760 mm Hg, variază cu altitudinea la valorile prezentate în tabelul 1;

Tabelul 1

Altitudinea [m]	0	1000	2000
Presiunea atmosferică [bar]	1,013	0,888	0,794
Presiunea barometrică [torr]*	760	674	596

* 1 torr = 101325/760 Pa.

— puterea teoretică pentru compresia adiabatică la diferite presiuni a unui metru cub aer/min aspirat la 1,013 bar și 20°C este redată în tabelul 2.

numai cele cu pistoane, care se produc la noi în țară. La acționarea mașinilor de înșurubat consumul de aer, în funcție de diferitele tipuri ale acestor mașini existente în prezent pe plan mondial, se prezintă astfel:

— pentru strîngerea șuruburilor pînă la M 10 consumul = 0,15—0,9 m^3/min;

— pentru strîngerea șuruburilor pînă la M 24 consumul = 0,4—1,10 m^3/min;

— pentru strîngerea șuruburilor pînă la M 39 consumul = 0,9—1,3 m^3/min.

Puterile compresoarelor sînt în intervalele: 1,88 — 6,5 kW; 3,5 — 8 kW și 6,5—14 kW. Rezultă puteri destul de mari, care influențează bilanțul energetic al folosirii acestor mașini de înșurubat. În general, debitele furnizate de motocompresoare nu corespund consumurilor mașinilor de înșurubat. Se impune în producție o acordare a debitelor de aer furnizat și consumat în scopul obținerii unor pierderi minime. În general nu se utilizează decît în parte puterea nominală a motoarelor termice de antrenare, dată fiind și rezerva menționată anterior.

Pe lîngă cele de mai sus, prin natura proceselor de producere, stocare și utilizare a energiei pneumatice, a randamentului total al compresorului destul de redus de numai 12%, această energie devine foarte costisitoare. Stocarea aerului în recipiente, în care se răcește de la temperatura realizată în urma comprimării pînă la temperatura mediului ambiant, are ca urmare pierderea unei mari părți din energia sa internă, ceea ce reprezintă, în bilanțul energetic, o cotă importantă.

Tabelul 2

Presiunea care se obține [bar]	1	2,5	5	7	10
Raportul de compresie	1,987	3,467	5,934	7,908	10,867
Puterea teoretică necesară [kW]	1,283	2,524	3,926	4,768	5,784
Temperatura finală (teoretică) [°C]	83	145	214	256	307

Date fiind variațiile presiunii și temperaturii numai ale aerului aspirat, evident că puterile consumate vor avea și ele variații importante. Ca urmare, antrenarea compresoarelor trebuie prevăzută cu rezerve sensibile de putere, față de parametrii considerați normali.

Antrenarea compresoarelor în șantiere este corespunzătoare numai prin motoare cu combustie internă. Dată fiind neadmisibilitatea suprasarcinilor la acestea, rezerva de putere trebuie asigurată integral. Se utilizează diverse construcții ale compresoarelor, prezentînd interes numai cele volumice, iar dintre acestea

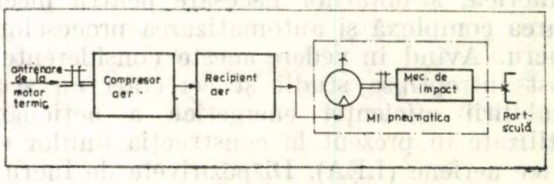


Fig. 1 Schema bloc a utilajelor pentru înșurubare pneumatică.

Calculele arată că într-o instalație de acționare pneumatică (fig. 1) pierderile de energie [1] se repartizează în compresor după cum urmează:

— frecări ale pieselor în mișcare rotativă	20%
— pierderi de aer prin neetanșeități	8%
— pierderi prin răcire în recipient	19%
— pierderi prin destindere adiabatică	36%
— pierderi prin neetanșeități la aparataj și conducte	5%
Total pierderi de energie în compresor	88%
Energie rămasă disponibilă	12%

Acest randament de circa 12% este în continuare micșorat de către mașina de înșurubat, al cărui randament depinde de felul construcției mecanismului de strîngere — prin impact sau strîngere continuă. Astfel, la mașinile de înșurubat cu impact, la modelele cu cele mai bune performanțe pe plan mondial, ca „INGERSOLL — RAND" S.U.A.; „ATLAS COPCO „ Suedia; „ROBERT BOSCH" R.F.G. ș.a., se constată, pe lîngă pierderile energetice în motorul pneumatic, pierderi și prin neetanșeități la conducte, articulații, percutoare etc., care estimativ se repartizează astfel:

— pierderi prin neetanșeități la furtunuri de circa 20 m	10%
— pierderi în motorul rotativ pneumatic	40%
— pierderi prin articulații, percutor, obturator	5%

La motorul pneumatic s-au însumat pierderile datorate randamentului izotermic, volumetric, mecanic și hidraulic. Ca urmare randamentul total al mașinii de înșurubat pneumatice ar fi:

$$\eta_{MIP} = 0{,}9 \times 0{,}6 \times 0{,}95 = 0{,}51.$$

Rezultă că randamentul total al utilajului la acționarea pneumatică, fără a considera motorul termic (deci de la antrenarea compresorului), va fi aproximativ următorul:

$$\eta_{UT} = \eta_{inst.} \times \eta_{MIP} = 0{,}12 \times 0{,}51 = 0{,}06, \text{ deci } 6\%.$$

Pe lîngă acest randament al utilajului de 6% la funcționarea mașinii de înșurubat cu mecanism de impact trebuie să se țină cont și de un randament mediu al fenomenului respectiv de strîngere cu lovire prin șocuri continue. În consecință randamentul energetic va fi diminuat și de pierderile energetice realizate de acest mecanism cu impact, reducîndu-l la un randament energetic de 3%.

Trebuie ținut cont, de asemenea, și de pierderile energetice specifice datorită tipului de utilaj folosit în instalație. Astfel, motocompresorul MC 5 Timpuri Noi București (cea mai mică unitate mobilă cu motor termic pe care o furnizează industria noastră) este prevăzut cu motor diesel tip D 110 UTB de 47,8 kW care asigură un debit de 5 m³/min.

Luînd în considerare cea mai eficientă utilizare în șantier cu patru mașini de înșurubat, de tip MI 24 Independența Sibiu, care au un consum de 1m³/min rezultă un consum mediu de aer în exploatare de 3 m³/min. În consecință, o parte din puterea motorului de cel puțin 10 kW nu este utilizată, constituind o pierdere energetică importantă. Menționăm totodată că motocompresorul nu este prevăzut cu comandă pentru oprirea motorului cînd rezervorul de aer este la presiunea maximă, permițînd numai funcționarea continuă a acestuia.

2. Acționarea electrică

La montajele mobile, caracteristice construcției LEA, se cunosc puține firme care folosesc mașinile de înșurubat cu acționare electrică, ca, de exemplu, firma „CENTRAL ILLINOIS, PUBLIC SERVICE Co." — S.U.A., care utilizează astfel de mașini la asamblarea stîlpilor din aluminiu, pentru LEA de 345 kV, dar care întrebuințează numai șuruburi de 17,46 mm — 11/16 inch la diferite lungimi.

Se observă că puterile mașinilor de înșurubat electrice se pot corela cu cele ale generatoarelor din grupurile electrogene numai cu rezerve care provoacă pierderi. De asemenea, o dificultate o constituie faptul că trebuie lucrat numai în medii uscate, nefiind recomandată utilizarea în medii reci cu umiditate mare sau îngheț. În țara noastră nu se produc mașini de înșurubat electrice care să satisfacă cerințele construcțiilor LEA, adică avînd strîngerea în gama șuruburilor de la M 12 la M 30.

Eficiența energetică a acționării electrice se poate exprima analizîndu-se repartizarea pierderilor pe „lanțul energetic", similar celor considerate pentru acționarea pneumatică, adică plecîndu-se de la arborele de antrenare al generatorului electric, conform schemei bloc din figura 2.

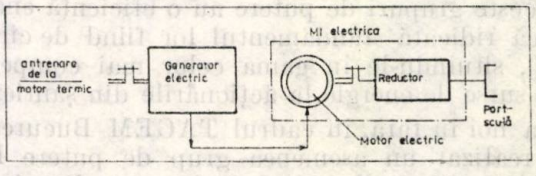


Fig. 2. Schema bloc a utilajelor pentru înșurubare electrică.

După diverse date estimative se pot considera următoarele pierderi:

— pierderi energetice la generator, inclusiv consumuri în accesoriile și aparatajul de comandă + reglaj	35%
— randamentul electromotorului $P \leqslant 1$ kW și încărcări medii de circa 4/5 din nominal, relevă ca pierderi circa	32%
— pierderi energetice în reductorul cu roți dințate	8%

Aproximînd deci randamentul total (generator-motor-reductor) rezultă

$$\eta_{MIE} = 0{,}65 \times 0{,}68 \times 0{,}92 = 0{,}40, \text{ deci } 40\%.$$

Aceasta fără a considera mecanismul de impact și randamentul energetic al acestuia care provoacă în continuare pierderi energetice prin construcția sa generatoare de șocuri continue.

La noi în țară grupurile electrogene au un randament energetic de circa 73% și se găsesc în dotarea șantierelor de construcții și montaje ale LEA. Sînt produse de către IME București. Motorul termic este de tip D 110 UTB, avînd puterea de 47,8 kW; puterea generatorului este de 40 kVA. Și în acest caz o parte din puterea motorului termic nu este utilizată de consumul necesar acționării dispozitivelor de lucru.

3. Acționarea hidrostatică

Sursa de energie hidrostatică la lucrările mobile din șantiere este produsă de grupurile de putere hidraulică. La aceste grupuri puterea mecanică este dezvoltată de către motoare termice sau electrice. Pentru construcția LEA sînt utilizate numai utilaje montate pe șasiuri prevăzute cu roți avînd pneuri, dotate cu motoare termice, pentru a le permite o mobilitate cît mai mare în șantier.

Grupurile de putere hidraulică, unități prevăzute cu motoare termice, sînt utilaje noi de construcții apărute în ultimele două decenii. Se remarcă diversitatea tipurilor constructive ale acestora pe plan mondial, cu precădere în S.U.A., R.F.G., Franța și Japonia. La anumite firme constructoare a apărut și cea de a doua generație a acestor grupuri hidraulice. Astfel se pot menționa firmele „FAIRMONT HIDRAULYCS — MINESOTA" și „ACKLEY MANUFACTURING Co Clackamas — Oregon" S.U.A.

Aceste grupuri de putere au o eficiență energetică ridicată, randamentul lor fiind de circa 80%, situîndu-le în gama celor mai competitive surse de energie la acționările din șantiere.

La noi în țară, în cadrul TAGEM București s-a realizat un asemenea grup de putere hidraulică (fig. 3) (brevetul de invenție România 79569, autori dr. ing. Eugen Dodon și dr. ing. Anton Gârbacea).

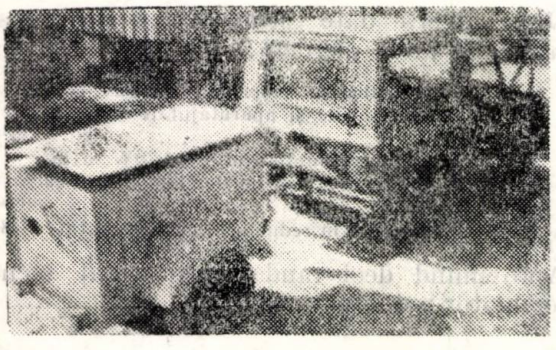


Fig. 3. Grup de putere hidraulic multifuncțional GPH.

Trebuie relevate cîteva particularități ale acestui grup de putere ca, de exemplu: este prevăzut pentru telecomenzi ale dispozitivelor de lucru pe care le acționează prin comenzi electrice și electronice, caracteristică neîntîlnită la nici unul din grupurile hidraulice cunoscute pînă în prezent pe plan mondial și care creează avantaje importante, ca, de exemplu, în cazul acționării mașinii de înșurubat portabile realizată de aceeași autori (brevetele de invenție România 80724 și 80725). Aceasta realizează momentul de torsiune impus în gama șuruburilor de la M 12 — M 36 prin telecomandă la moment controlat după solicitare. Precizia strîngerii are o abatere de ± 1%, obținută prin intermediul valorii presiunii lichidului de lucru. Momentele de strîngere se stabilesc la un potențiometru dispus lîngă mînerul mașinii de înșurubat, etalonat direct în mărimea șuruburilor de strîns.

Greutatea totală a acestui grup hidraulic este de circa 450 kg, mult mai mică decît a motocompresorului MC 5 Timpuri Noi, la care greutatea proprie se ridică la 1680 kg.

Pierderile de energie în instalația acționată hidrostatic, după cum reiese din schema bloc redată în figura 4, de acționare a unei mașini de înșurubat [2, 3] se prezintă astfel:

- pierderi totale în pompă (mecanice, hidraulice, volumice) 20%
- pierderi în aparatajul de comandă și reglare . 8%
- pierderi în motorul rotativ 20%
- pierderi energetice prin faze auxiliare, în medie 5%
- pierderi în aparatajul auxiliar și consumuri în comanda electrică 5%

Total pierderi energetice 58%

În consecință, randamentul energetic total al mașinii de înșurubat cu acționare hidrostatică este de 42%. La acest randament nu s-a ținut cont de pierderile energetice ale mecanismului de impact prin șocuri ale mașinii de înșurubat. Acesta are un randament energetic de numai 20%.

Concluzii

Rezultatele obținute în urma cercetărilor întreprinse, la care se mai adaugă și rezultatele cercetărilor privind eficiența energetică a mecanismelor de strîngere ale mașinilor de înșurubat, sînt sintetizate în tabelul 3.

Din datele prezentate în tabelul 3 rezultă că eficiența energetică cea mai ridicată o oferă acționarea hidrostatică. La grupurile de putere hidraulică aceasta este de 80%, de 6,6 ori mai competitivă decît eficiența energetică a acționării pneumatice de 12%.

La dispozitivele de lucru acționate, în cazul nostru mașinile de înșurubat, eficiența energetică la mecanismul de strîngere continuă cu acționare hidrostatică este de 42%, iar la cel cu impact de 20%. Comparînd-o cu eficiența

Tabelul 3

Acționare	Grupuri de putere		Eficiența energetică a mașinii de înșurubat [%]	
	Denumire	Eficiența energetică [%]	Cu strîngere prin impact	Cu strîngere continuă
Pneumatică	motocompresor	12	3	6
Electrică	grup electrogen	73	19	40
Hidrostatică	grup hidraulic	80	20	42

energetică a mașinii de înșurubat pneumatică care realizează o eficiență de 6% în primul caz și de numai 3% în cel de al doilea caz rezultă că eficiența energetică a acționării hidrostatice este de circa 7 ori mai mare.

În baza eficienței energetice determinate în urma cercetărilor întreprinse, clasificarea impune în primul rînd acționarea hidrostatică, apoi cea electrică și ultima acționarea pneumatică, contrar deci clasificării actuale care impune în primul rînd acționarea pneumatică, apoi cea electrică și ultima acționarea hidrostatică.

Concluzia obținută în baza unor criterii riguros științifice, determină luarea unor măsuri de dezvoltare, amplificare și de diversificare a acționării hidrostatice la utilajele și dispozitivele care se utilizează în sectoarele de construcții și montaje energetice în special, precum și în sectorul de construcții și montaje în general. Grupul de putere hidraulic multifuncțional poate substitui eficient din punct de vedere energetic și funcțional, al gabaritelor mai reduse, dispozitivele de lucru acționate pneumatic și electric utilizate în prezent pe șantiere.

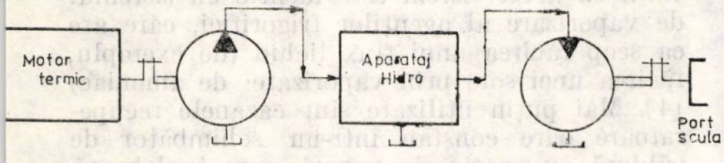


Fig. 4. Schema bloc a utilajelor pentru înșurubare hidrostatică.

În sprijinul acestei afirmații se dau în figura 5 diagramele rapoartelor putere-greutate și putere–volum la motoarele termice, electrice, pneumatice și hidrostatice, diagrame întocmite de către firma „ATLAS COPCO" Suedia, firmă importantă producătoare de echipament pneumatic [4].

Din raportul putere-greutate se constată că motorul hidrostatic are o greutate pe unitatea

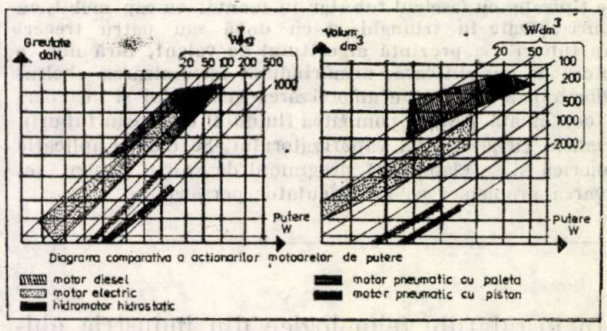


Fig. 5.

de putere superioară cu 533% în comparație cu motorul diesel și cu 800% în comparație cu motorul pneumatic cu palete.

Raportul putere-volum, relevă că volumul pe unitatea de putere al motorului hidrostatic este superior cu 2857% față de motorul diesel, cu 1333% față de motorul electric și cu 166% față de motorul pneumatic cu palete.

Considerăm în final că studiile și cercetările efectuate pentru determinarea eficienței energetice a acționărilor necesare proceselor de mecanizare și automatizare a lucrărilor din șantierele energetice situează acționarea hidrostatică pe primul loc. Aceasta se dovedește cea mai competitivă dacă se adăugă și alți parametri tehnico-economici, citați parțial în prezentul articol.

Bibliografie

[1] Cosoroabă, V. ș.a. *Acționări pneumatice.* Ed. Tehnică, București, 1971.

[2] Ciocârdia, C. ș.a. *Acționarea hidrostatică a mașinilor agricole.* Ed. Tehnică, București, 1967.

[3] Vaida, A., Dodon, E. ș. a. *Mașini unelte.* Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1970.

[4] *Catalog E 13803 „AIR MOTORS"* — ATLAS COPCO Stockholm 1975.

(Primit la 5 mai 1988, acceptat la 1 august 1988)

Optimizarea generatoarelor de abur recuperatoare de căldură

Conf. dr. ing. DUMITRU DOBRINESCU, ş.l. ing. VASILE SOMOGHI, as. ing. CORNEL PĂTRAŞCU *

Descriptori : recuperare de căldură, generatoare de abur, dimensionare tehnologică optimizată

Se tratează dimensionarea tehnologică optimizată a vaporizatoarelor (generatoare de abur recuperatoare de căldură, vaporizatoare de agenţi frigorifici etc.), aparate orizontale tipizate, cu fascicul tubular în manta, cu cap mobil, cu tuburi aşezate în triunghi şi cu două sau patru treceri prin tuburi. Se prezintă algoritmul de calcul, fără nici o ipoteză de simplificare, urmărindu-se minimizarea cheltuielilor anuale totale (cu amortizarea aparatului şi cu energia consumată pentru pomparea fluidului cald prin tuburi), variabile cu geometria vaporizatorului. Se redă o aplicaţie numerică şi se elaborează programul de calcul pentru rezolvarea problemei pe un calculator personal.

The optimized technological dimensioning of vaporizers (steam generators, heat recuperators, cooling agent vaporizers) is presented. These are typified horizontal devices with tube bundles with moving head, with triangular located tubes and two or four passes through the tubes. The calculation algorithm without any simplification hypothesis is presented, aiming at the total annual expenses minimization (the device's pay back rate and the energy used for pumping the hot fluid through the tubes) which are variable values depending on the vaporizers geometry. A numerical application is depicted and the computation program for solving the problem on a personal computer is indicated.

În instalaţiile tehnologice din industria chimică şi petrochimică există numeroase surse din care este posibil şi trebuie să se recupereze căldură. Cele mai frecvente cazuri se referă la recuperarea de căldură sensibilă din diversele produse lichide calde, care trebuie să fie răcite înainte de depozitare, sau din diverşii agenţi intermediari în fază lichidă, utilizaţi în scopul termostatării reactoarelor chimice în care au loc reacţii exotermice. Avîndu-se în vedere necesităţile mari de abur în aceste instalaţii tehnologice, în marea majoritate a cazurilor, prin recuperare de căldură sensibilă din astfel de fluxuri lichide calde se generează abur tehnologic, saturat, de presiune medie [5, 6, 7, 12].

Cazanele recuperatoare cele mai frecvent utilizate în astfel de cazuri sînt de tipul celui redat în figura 1 [4]. Acesta constă dintr-un schimbător de căldură orizontal cu fascicul tubular în manta, cu cap mobil sau cu tuburi U şi cu două sau patru treceri prin tuburi, pentru circularea fluidului cald din care se recuperează căldură. Deasupra schimbătorului este plasat, tot orizontal, tamburul separator de faze. Apa de alimentare este introdusă, prin intermediul unui regulator de nivel, în separator şi de aici, prin termosifonare, circulă prin mantaua schimbătorului, vaporizîndu-se parţial la o trecere, iar amestecul apă-abur se reîntoarce în separator. O mică parte din abur condensează, pentru preîncălzirea apei de alimentare pînă la temperatura de saturaţie corespunzătoare presiunii, iar prin partea superioară a tamburului separator se evacuează aburul saturat, puţin umed, generat. Se constată că acest sistem este identic cu sistemul de vaporizare al agenţilor frigorifici, care are ca scop răcirea unui flux lichid (de exemplu, răcirea unei sole prin vaporizare de amoniac) [4]. Mai puţin utilizate sînt cazanele recuperatoare care constau într-un schimbător de căldură cu spaţiu de vapori, care înglobează vaporizatorul şi separatorul [4].

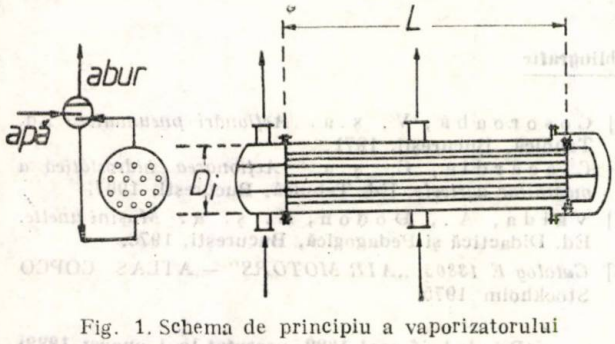


Fig. 1. Schema de principiu a vaporizatorului

În cele ce urmează se prezintă o metodă de dimensionare tehnologică optimă, din punct de vedere tehnico-economic, a schimbătoarelor de căldură cu fascicul tubular, în mantaua cărora are loc un proces de vaporizare izobar — izotermică, iar prin tuburi circulă un fluid care cedează căldură prin răcire. Criteriul de optimizare îl constituie cheltuielile anuale totale, variabile cu geometria schimbătorului de căldură, care înglobează cheltuielile cu amortizarea schimbătorului şi cheltuielile cu energia de pompare, pentru compensarea pierderii de presiune a fluidului cald care circulă prin tuburi.

* Conf. dr. ing. Dumitru Dobrinescu, ş. l. ing. Vasile Somoghi, as. ing. Cornel Pătraşcu — Institutul de Petrol şi Gaze Ploieşti.

1. Algoritmul de calcul

Datele inițiale necesare calculului sînt următoarele:

— debitul masic al fluidului cald din care se preia căldură, m_i, kg/s;

— temperaturile, inițială și finală, ale fluidului cald, t_1 și t_2, °C;

— proprietățile fizice ale fluidului cald, la temperatura sa medie — densitatea ρ, kg/m³, căldura specifică c, J/kg.°C, conductivitatea termică λ, W/m °C, și viscozitatea dinamică, μ, kg/m.s;

— temperatura și presiunea de saturație a lichidului care se vaporizează în manta, t_s, °C, și p_s, bar;

— căldura latentă de vaporizare corespunzătoare r, J/kg.

În tabelul 1 sînt prezentate tipurile de fascicule tubulare utilizate practic, cu așezarea tuburilor în triunghi.

Tabelul 1

Fasciculele de tuburi tipizate, pentru schimbătoarele de căldură cu cap mobil și așezarea tuburilor în triunghi

D_i, m	n, tuburi			
	$d_e = 0{,}020 (d_i = 0{,}016)$ și $s = 0{,}026$ m		$d_e = 0{,}025 (d_i = 0{,}021)$ și $s = 0{,}032$ m	
	$N_p = 2$	$N_p = 4$	$N_p = 2$	$N_p = 4$
0,480	188	176	134	130
0,600	354	318	224	212
0,700	504	466	312	296
0,800	666	652	430	412
0,900	818	802	576	538
1,000	1122	1046	714	684
1,100	1372	1336	900	868
1,200	1656	1610	1090	1024
1,300	1966	1900	1284	1262

S-a notat:

— d_e și d_i [m], diametrele exterior și interior ale tuburilor;

— s [m], pasul tuburilor;

— N_p, numărul de treceri (pasuri) prin tuburi;

— D_i [m], diametrul interior al mantalei;

— n, numărul total de tuburi.

Se aleg inițial d_e (implicit și d_i și s) și N_p, iar apoi se admite un tip de fascicul prin D_i și n.

Viteza fluidului din tuburi este:

$$w = \frac{m_i \cdot N_p \cdot 4}{\rho \cdot n \cdot \pi \cdot d_i^2}. \quad (1)$$

Valoarea criteriului Reynolds:

$$\mathrm{Re} = \frac{d_i \cdot w \cdot \rho}{\mu}. \quad (2)$$

Coeficientul de convecție interior α_i, W/m²°C, în cazul $\mathrm{Re} > 10^4$, se calculează cu relațiile [3]:

— pentru lichide care se răcesc:

$$\alpha_i = \frac{\lambda}{d_i} \cdot 0{,}0263 \cdot \mathrm{Re}^{0,8} \cdot \mathrm{Pr}^{0,35}; \quad (3)$$

— pentru gaze care se răcesc:

$$\alpha_i = \frac{\lambda}{d_i} \cdot 0{,}0209 \cdot \mathrm{Re}^{0,8} \cdot \mathrm{Pr}^{0,45}. \quad (4)$$

În cazul în care $\mathrm{Re} = 2300 \div 10^4$, ambele relații se completează și cu factorul

$$b = 1 - \frac{600\,000}{\mathrm{Re}^{1,8}}. \quad (5)$$

Criteriul Prandtl are expresia:

$$\mathrm{Pr} = \frac{c \cdot \mu}{\lambda} \quad (6)$$

(pentru gaze se utilizează căldura specifică izobară).

Pentru fierberea lichidelor în domeniul globular, în exteriorul unui tub orizontal singular, există unele relații generale pentru calcularea coeficientului de convecție, dar nu suficient de exacte. Este de preferat să se utilizeze relații particulare simple, care dau rezultate mult mai corecte, ca de exemplu [3]:

— pentru fierberea apei la $p_s < 98$ bar:

$$\alpha'_e = 25{,}96 \cdot p_s^{0,5867} \cdot \Delta t_e^{2,333} [\mathrm{W/m^2\ °C}]; \quad (7)$$

— pentru fierberea amoniacului:

$$\alpha'_e = (4{,}2 + 0{,}0294 \cdot t_s)^{3,333} \cdot \Delta t_e^{2,333} (\mathrm{W/m^2\ °C}), \quad (8)$$

unde:

Δt_e reprezintă diferența dintre temperatura medie a peretelui tubului singular și temperatura de saturație a lichidului care se vaporizează $(t_p - t_s)$.

Cum t_p nu se cunoaşte, valoarea lui se presupune (cu cîteva grade peste t_s), se calculează α'_e şi apoi se verifică t_p cu relaţia :

$$t_p = \frac{\frac{\alpha_i \cdot d_i}{d_e} \cdot \frac{t_1 + t_2}{2} + \alpha'_e \cdot t_s}{\alpha'_e + \frac{\alpha_i \cdot d_i}{d_e}}. \quad (9)$$

Valoarea lui t_p presupusă se consideră corectă, dacă ea nu diferă de t_p calculat cu mai mult decît 0,1°C. În caz contrar, se face o altă presupunere.

La vaporizarea din manta, în exteriorul unui fascicul de tuburi orizontale, valoarea medie α_e este mai mică decît α'_e corespunzătoare unui tub singular. Aceasta se datorează faptului că bulele de vapori în mişcarea lor ascensională se ciocnesc de tuburile superioare, reducînd suprafaţa de contact lichid-perete [2, 8, 11].

Calcularea coeficientului de convecţie mediu, pentru vaporizarea din manta, se face cu relaţia [3] :

$$\alpha_e = \alpha'_e \cdot \frac{0{,}714\left(\frac{s - d_e}{0{,}3048}\right)^{0{,}03097 \cdot G}}{N^{0{,}24(\ln N) - 0{,}42}}, \quad (10)$$

unde G[kg/sm^2] reprezintă raportul dintre debitul masic de vapori corespunzător unui tub singular şi aria liberă minimă dintre două tuburi alăturate :

$$G = \frac{\alpha'_e \cdot \pi \cdot d_e \cdot \Delta t_e}{r(s - d_e)}. \quad (11)$$

N este numărul de tuburi pe un şir vertical central şi se calculează la schimbătoarele cu cap mobil, cu următoarele relaţii :

— pentru $N_p = 2$:

$$N = \frac{D_i - 0{,}06}{s \cdot \sqrt{3}}; \quad (12)$$

— pentru $N_p = 4$:

$$N = \frac{D_i - 0{,}1}{s \cdot \sqrt{3}}. \quad (13)$$

Se poate utiliza numărul zecimal rezultat, sau numai partea sa întreagă.

În continuare, se admit valori practice pentru rezistenţele termice ale depunerilor din interiorul şi exteriorul tuburilor R_{di} şi R_{de}[m^2·°C/W] şi pentru conductivitatea termică a oţelului din care sînt confecţionate tuburile λ_0[W/m°C].

Coeficientul global de transfer de căldură, exprimat pe unitatea de arie exterioară a tuburilor şi incluzînd şi rezistenţele termice ale depunerilor, se exprimă în W/m^2 °C şi rezultă din relaţia [3] :

$$k_{ed} = \frac{1}{\frac{d_e}{\alpha_i d_i} + \frac{R_{di} \cdot d_e}{d_i} + \frac{d_e}{2\lambda_0} \cdot \ln\frac{d_e}{d_i} + R_{de} + \frac{1}{\alpha_e}}. \quad (14)$$

Fluxul termic schimbat între fluide (W) este :

$$Q = m_i \cdot c(t_1 - t_2). \quad (15)$$

Debitul masic de abur generat în vaporizator, (în kg/s), are expresia :

$$m_e = \frac{Q}{r}. \quad (16)$$

Diferenţa medie de temperatură dintre cele două fluide este :

$$\Delta t = \frac{(t_1 - t_s) - (t_2 - t_s)}{\ln\frac{t_1 - t_s}{t_2 - t_s}}. \quad (17)$$

Aria de transfer de călură necesară (aria exterioară a tuturor tuburilor, în m^2) rezultă din relaţia clasică :

$$A_e = \frac{Q}{k_{ed} \cdot \Delta t}, \quad (18)$$

iar lungimea corespunzătoare a tuburilor este :

$$L = \frac{A_e}{n \cdot \pi \cdot d_e} \text{ [m]}. \quad (19)$$

Costul unui schimbător de căldură (C_s, lei), cu $A_e = 200-400$ m^2, se poate stabili cu relaţia :

$$C_s = 5{,}65 \cdot 10^5 + 2250 \cdot A_e. \quad (20)$$

Notîndu-se cu D_{ns} (ani) durata normată de serviciu şi admiţîndu-se valori practice pentru cheltuielile cu montarea, întreţinerea şi repararea schimbătorului, rezultă pentru cheltuielile cu amortizarea, în lei/an, expresia :

$$C_A = \frac{1{,}2 \cdot C_s}{D_{ns}} \cdot 1{,}25 = \frac{1{,}5}{D_{ns}}(5{,}65 \cdot 10^5 + 2250 \cdot A_e). \quad (21)$$

S-au admis cheltuielile de montaj $0{,}2 \cdot C_e$ lei şi s-a considerat că cheltuielile anuale cu întreţinerea şi repararea reprezintă 25% în raport cu amortizarea simplă a schimbătorului [10].

Căderea de presiune a fluidului care circulă prin tuburi se calculează cu relaţia [3]:

$$\Delta p = 1{,}3 \cdot f \cdot N_p \cdot \frac{\rho w^2}{2} \cdot \frac{L}{d_i} \text{ [N/m}^2\text{]}. \quad (22)$$

Majorarea cu 30%, prin factorul 1,3, corespunde includerii căderilor de presiune locale.

Pentru coeficientul de frecare se recomandă relaţiile:

— în cazul $\text{Re} = 10^3 - 10^5$:

$$f = \frac{0{,}4205}{\text{Re}^{0{,}243}}, \quad (23)$$

— în cazul $\text{Re} > 10^5$;

$$f = \frac{0{,}1694}{\text{Re}^{0{,}164}}. \quad (24)$$

Cheltuielile anuale cu consumul de energie electrică pentru pompare, în scopul acoperirii pierderii de presiune a fluidului care circulă prin tuburi, se stabilesc cu relaţia (în lei/an):

$$C_E = \frac{m_t \cdot \tau \cdot c_s}{\rho \cdot \eta} \cdot \Delta p, \quad (25)$$

unde:

τ reprezintă timpul anual de utilizare a schimbătorului de căldură (h/an);

c_s — costul specific al energiei electrice (lei/Wh);

η — randamentul global al pompei.

Cheltuielile anuale totale (lei/an), a căror minimizare se urmăreşte în dimensionarea tehnologică optimă a vaporizatoarelor prezentate, se exprimă prin suma:

$$C_T = C_A + C_E. \quad (26)$$

2. Aplicaţie numerică

Aplicaţia care se redă în continuare are rolul de a concretiza metoda de calcul prezentată.

Într-o instalaţie tehnologică, gazele de reacţie sînt răcite utilizîndu-se în circuit închis, ca agent termic intermediar, difilul în fază lichidă. Prin recuperarea de căldură de la difil se generează abur saturat de presiune medie, util în scopuri tehnologice, prin intermediul unui cazan recuperator de tipul celui prezentat în figura 1. Se cere dimensionarea tehnologică optimă a schimbătorului de căldură necesar.

Se cunosc următoarele date iniţiale:

— debitul de difil recirculat, $m_t = 85$ kg/s;

— temperatura iniţială a difilului, $t_1 = 250°$ C;

— temperatura finală a difilului, $t_2 = 210°$ C;

— proprietăţile fizice ale difilului lichid la temperatura medie (230° C): $\rho = 877$ kg/m^3, $c = 2181$ J/kg °C, $\lambda = 0{,}1149$ W/m °C şi $\mu = 3{,}1 \cdot 10^{-4}$ kg/ms [3];

— temperatura şi presiunea de saturaţie ale aburului, $t_s = 190°$ C şi $p_s = 12{,}553$ bar;

— căldura latentă de vaporizare a apei la temperatura de saturaţie, $r = 1{,}979.10^6$ J/kg.

Se admit următoarele valori necesare:

— rezistenţele termice specifice ale depunerilor, $R_{di} = 0{,}0002$ şi $R_{de} = 0{,}0001$ m^2 °C/W;

— conductivitatea termică a tuburilor (oţel carbon), $\lambda_0 = 40$ W/m °C;

— durata normată de serviciu, $D_{ns} = 20$ ani;

— timpul anual de utilizare, $\tau = 8000$ h/an;

— costul specific al energiei electrice, $c_s = 0{,}5.10^{-3}$ lei/Wh;

— randamentul global al pompei, $\eta = 0{,}7$.

Se aleg patru treceri prin tuburi ($N_p = 4$) şi tuburi cu $d_e = 0{,}025$ m (implicit $d_i = 0{,}021$ şi $s = 0{,}032$ m).

În tabelul 1, pentru acest caz, se găsesc mai multe perechi de valori $n - D_i$.

Calculul iniţial se face pentru $n = 1262$ tuburi şi $D_i = 1{,}3$ m.

Viteza difilului prin tuburi (relaţia 1):

$$w = \frac{85 \cdot 4 \cdot 4}{877 \cdot 1262 \cdot \pi \cdot 0{,}021^2} = 0{,}8869 \text{ m/s}.$$

Corespunde valoarea criteriului Reynolds (relaţia 2):

$$\text{Re} = \frac{0{,}021 \cdot 0{,}8869 \cdot 877}{3{,}1 \cdot 10^{-4}} = 52690 > 10^4.$$

Criteriul Prandtl se stabileşte cu relaţia (6):

$$\text{Pr} = \frac{2181 \cdot 3{,}1 \cdot 10^{-4}}{0{,}1149} = 5{,}8843.$$

Coeficientul de convecţie pentru difil (relaţia 3):

$$\alpha_t = \frac{0{,}1149}{0{,}021} \cdot 0{,}0263 \cdot 52690^{0{,}8} \cdot 5{,}8843^{0{,}35} = 1602{,}6 \text{ W/m}^2\text{°C}.$$

Se presupune temperatura peretelui $t_p = 196$°C.

Coeficientul de convecţie la fierberea apei, pentru un tub singular (relaţia 7):

$$\alpha'_e = 25{,}96 \cdot 12{,}553^{0{,}5337} \cdot (196 - 190)^{2{,}333} = 7488 \text{ W/m}^2\text{°C}.$$

Verificarea temperaturii peretelui (relaţia 9):

$$t_p = \frac{\dfrac{1602{,}6 \cdot 0{,}021}{0{,}025} \cdot \dfrac{250 + 210}{2} + 7488 \cdot 190}{7488 + \dfrac{1602{,}6 \cdot 0{,}021}{0{,}025}} = 196{,}1 \text{ °C}.$$

Între cele două valori ale lui t_p existînd o diferenţă de 0,1°C, valoarea presupusă pentru t_p se consideră corectă

Calculul parametrului G_t (relaţia 11):

$$G = \frac{7488 \cdot \pi \cdot 0{,}025(196 - 190)^{\frac{3}{4}}}{1{,}979 \cdot 10^6 (0{,}032 - 0{,}025)^{\frac{1}{4}}} = 0{,}25472 \text{ kg/sm}^2.$$

Numărul de tuburi pe un șir vertical central (relația 13):

$$N = \frac{1{,}3 - 0{,}1}{0{,}032 \cdot \sqrt{3}} = 21.$$

Coeficientul de convecție mediu la exteriorul tuburilor (relația 10).

$$\alpha_e = 7488 \cdot \frac{0{,}714\left(\frac{0{,}032 - 0{,}025}{0{,}3048}\right)^{0{,}03097 \cdot 0{,}25472}}{21^{0{,}24(\ln 21) - 0{,}42}} =$$

$$= 2015{,}3 \text{ W/m}^2\,^\circ\text{C}.$$

Coeficientul global de transfer de căldură (relația 14):

$$k_{ed} = \frac{1}{\frac{0{,}025}{1602{,}6 \cdot 0{,}021} + \frac{0{,}0002 \cdot 0{,}025}{0{,}021} + \frac{0{,}025}{2 \cdot 40} \ln \frac{0{,}025}{0{,}021} + 0{,}0001 + \frac{1}{2015{,}3}} =$$

$$= 612{,}89 \text{ W/m}^2\,^\circ\text{C}$$

Fluxul termic schimbat (relația 15):

$$Q = 85 \cdot 2181(250 - 210) = 7{,}4154 \cdot 10^6 \text{ W}.$$

Debitul de abur generat în schimbător (relația 16):

$$m_e = \frac{7{,}4154 \cdot 10^6}{1{,}979 \cdot 10^6} = 3{,}747 \text{ kg/s } (13{,}5 \text{ t/h}).$$

Diferența medie de temperatură dintre fluide (relația 17):

$$\Delta t = \frac{(250 - 190) - (210 - 190)}{\ln \frac{250 - 190}{210 - 190}} = 36{,}41^\circ\text{C}.$$

Aria de transfer de căldură necesară (relația 18):

$$A_e = \frac{7{,}4154 \cdot 10^6}{612{,}89 \cdot 36{,}41} = 332{,}3 \text{ m}^2 \text{ (între 200 și 400 m}^2\text{)}.$$

Lungimea corespunzătoare a tuburilor (relația 19):

$$L = \frac{332{,}3}{1262 \cdot \pi \cdot 0{,}025} = 3{,}353 \text{ m}.$$

Cheltuielile anuale cu amortizarea (relația 21):

$$C_A = \frac{1{,}5}{20}(5{,}65 \cdot 10^5 + 2250 \cdot 332{,}3) = 98451 \text{ lei/an}.$$

Căderea de presiune a difilului (relațiile 23 și 22):

$$f = \frac{0{,}4205}{526900{,}243} = 0{,}029949,$$

$$\Delta p = 1{,}3 \cdot 0{,}029949 \cdot 4 \cdot \frac{877 \cdot 0{,}8869^2}{2} \cdot \frac{3{,}353}{0{,}021} =$$

$$= 8577 \text{ N/m}^2 \text{ (0,08577 bar)}.$$

Cheltuielile anuale cu consumul de energie electrică (relația 25):

$$C_E = \frac{85 \cdot 8000 \cdot 0{,}5 \cdot 10^{-3}}{877 \cdot 0{,}7} \cdot 8577 = 4750 \text{ lei/an}.$$

Cheltuielile anuale totale, variabile cu geometria schimbătorului de căldură (relația 26):

$$C_T = 98451 + 4750 = 103201 \text{ lei/an}.$$

Repetîndu-se toate aceste calcule de dimensionare și pentru fasciculele cu $n = 1024{,}868$ și 684 tuburi, se poate constata că C_T are valoarea minimă pentru schimbătorul de căldură cu $D_i = 1{,}1$ m și $n = 868$ tuburi. În acest caz optim, corespunde lungimea tuburilor $L = 3{,}855$ m. În practica realizării schimbătoarelor de căldură, se preferă lungimi tipizate pentru tuburi, ca de exemplu 4 și 6 m. Dacă în cazul analizat se impune o lungime tipizată de tuburi, se poate admite un schimbător cu $L = 4$ m, acesta fiind foarte apropiat de situația optimă.

3. Program de calcul

Tratarea analitică a problemei anterioare, în scopul stabilirii valorii optime a lui „n" este extrem de grea. În principiu, s-ar putea face, conform relațiilor prezentate, înlocuiri succesive în expresia lui C_T, pentru a se stabili funcția obiectiv a cărei minimizare se urmărește. Dificultățile se datoresc faptului că modul de stabilire a lui α_e mediu este complex, că temperatura peretelui tubului trebuie presupusă și apoi verificată și că este necesară o corelare analitică $D_i = f(n)$. În plus, cele două expresii ale lui A_e (relațiile 18 și 19) constituie o restricție, care implică admiterea unei a doua variabile independente (obișnuit L). Chiar dacă se stabilește funcția obiectiv amintită, determinarea perechii de valori optime $n - L$ se va face foarte greu, prin încercări succesive, iar în final tot trebuie să se aleagă valori tipizate și să se calculeze toți parametrii constructiv-funcționali ai schimbătorului de căldură optimizat. Complicația devine și mai mare, dacă se consideră ca variabile independente și d_e, plus N_p [1,9].

Avîndu-se în vedere faptul că în aplicația numerică prezentată s-a admis numai perechea de valori $N_p = 4$ și $d_e = 0{,}025$ m, dar că ar trebui analizate și celelalte trei cazuri posibile $N_p = 2$ și $d_e = 0{,}025$ m, $N_p = 4$ și $d_e = 0{,}020$ m, respectiv $N_p = 2$ și $d_e = 0{,}020$ m, s-a considerat utilă elaborarea unui program de calcul care să rezolve toate aceste probleme.

Programul elaborat, prezentat în anexă, este stabilit în limbaj BASIC caracteristic calculatorului personal TIM-S și este conceput simplu, astfel încît, după modelul prezentat în aplicația numerică anterioară, să redea în final rezultatele obținute, pentru toate perechile de valori $N_p - d_e$.

Tabelul 2

Rezultate obținute la calculator pentru tuburi cu d_e = 0,02 m

Parametri	$N_p = 2$				$N_p = 4$			
n, tuburi	504	666	818	1122	1046	1336	1610	1900
D_i, m	0,7	0,8	0,9	1,0	1,0	1,1	1,2	1,3
w, m/s	1,9128	1,4476	1,1785	0,8592	1,8433	1,4432	1,1976	1,0148
Re	86586	65524	53349	38894	83440	65328	54210	45936
α_i, W/m² °C	3129,7	2504,2	2124,4	1649,9	3038,4	2498,4	2151,8	1884,8
t_p, °C	197,19	196,75	196,44	196,00	197,13	196,75	196,47	196,23
α_e, W/m²°C	4409,1	3420,3	2764,1	2121,0	3269,8	2493,8	2068,0	1738,0
k_{ed}, W/m² °C	969,00	835,19	737,49	611,67	890,46	765,03	680,16	608,14
A_e, m²	210,18	243,85	276,16	332,96	228,72	266,21	299,43	334,89
L, m	6,6371	5,8274	5,3731	4,7231	3,4800	3,1713	2,9600	2,8052
C_A, lei/an	77843	83525	88977	98563	80971	87299	92905	98889
Δp, N/m²	45936	24715	15880	8012	45139	26760	17996	12749
C_E, lei/an	25441	13688	8795	4437	25000	14821	9967	7061
C_T, lei/an	103284	97213	97772	103000	105971	102120	102872	105950

Tabelul 3

Rezultate obținute la calculator pentru tubur cu d_e = 0,025 m

Parametri	$N_p = 2$				$N_p = 4$			
n, tuburi	312	430	576	714	538	684	868	1024
D_i, m	0,7	0,8	0,9	1,0	0,9	1,0	1,1	1,2
w, m/s	1,7937	1,3015	0,9716	0,7838	2,0800	1,6360	1,2890	1,0930
Re	106567	77323	57724	46567	123602	97219	76611	64939
α_i, W/m² °C	2815,5	2178,2	1723,9	1451,8	3170,1	2616,0	2162,1	1894,3
t_p, °C	197,07	196,58	196,16	195,86	197,31	196,93	196,57	196,32
α_e, W/m² °C	5143,6	3861,5	2953,1	2498,9	4568,9	3615,8	2877,8	2511,4
k_{ed}, W/m² °C	990,26	834,66	703,36	620,06	1013,20	889,52	774,79	704,62
A_e, m²	205,67	244,01	289,56	328,46	201,01	228,96	262,86	289,04
L, m	8,3931	7,2252	6,4007	5,8572	4,7570	4,2620	3,8550	3,5940
C_A, lei/an	77082	83552	91238	97803	76296	81012	86733	91151
Δp, N/m²	37202	18129	9610	6030	55369	31982	19038	13273
C_E, lei/an	20604	10041	5322	3339	30666	17713	10544	7351
C_T, lei/an	97686	93593	96560	101142	106962	98725	97277	98502

În tabelele 2 și 3 sînt prezentate parțial rezultatele obținute prin rularea programului, pentru toate cele patru perechi de valori N_p — — d_e utilizate în practică.

Analizîndu-se aceste tabele, se constată următoarele :

— valoarea cea mai mică a lui C_T corespunde schimbătorului de căldură cu $d_e = 0{,}025$ m, $N_p = 2$, n = 430 tuburi și $D_i = 0{,}8$ m, dar acest aparat nu este recomandabil, pentru că el trebuie să aibă $L = 7{,}2252$ m, adică o valoare netipizată ;

— sînt de preferat cazurile, tot optime, cu $d_e = 0{,}025$ m, $N_p = 4$, $n = 868$ tuburi și $D_i = 1{,}1$ m și respectiv $d_e = 0{,}020$ m, $N_p = 2$, n = 666 tuburi și $D_i = 0{,}8$ m, care au corespunzător $L = 3{,}8550$ m $\approx$ 4 m și $L = 5{,}8274$ m $\approx$ $\approx$ 6 m ;

— prin admiterea acestor lungimi tipizate de tuburi se obțin supradimensionări ale ariei de transfer de numai 3,76% și respectiv 2,96%, care sînt ușor acceptate și chiar recomandate în practică.

În final, se poate trage concluzia că metoda de dimensionare tehnologică optimizată a vaporizatoarelor stabilită, precum și programul de calcul corespunzător elaborat, sînt ușor de aplicat și utile în proiectarea vaporizatoarelor necesare în diversele ramuri industriale. Metoda de calcul stabilită utilizează cele mai corecte relații existente, nu face nici o ipoteză de simplificare și ține seamă de recomandările privind tipizarea schimbătoarelor de căldură. În program, pentru calcularea lui α'_e, este trecută numai relația corespunzătoare vaporizării apei. În cazul vaporizării altui lichid, trebuie introdusă în instrucțiunea 230 din program relația respectivă (de exemplu, pentru vaporizarea amoniacului, relația 8).

ANEXĂ

PROGRAM DE CALCUL

```
10 PRINT ,,DIMENSIONAREA TEHNOLOGICĂ OPTIMIZATĂ A GENERATOARELOR DE ABUR RECUPERATOARE DE CĂLDURĂ"
15 DIM N (10,3): DIM M (10,3) : DIM D(10)
20 REM N (i,j) — tuburi cu de = 0.025 m, s = 0.032 m, j = 1 două treceri ; j = 2 — patru treceri
25 REM M(i,j) — tuburi cu de = 0.020 m, s = 0.026 m, j = 1 două treceri ; j = 2 — patru treceri
30 REM D(i) — diametrul interior al mantalei, m
35 FOR j = 1 TO 2 : FOR i = 1 TO 9
40 READ N(i,j) : NEXT i : NEXT j
45 DATA 134,224,312,430,576,714,900,1090,1284
        130,212,296,412,538,684,868,1024,1262
50 FOR j = 1 TO 2 : FOR i = 1 TO 9
55 READ M(i,j) : NEXT i : NEXT j
60 DATA 188,354,504,666,818,1122,1372,1656,1966,
        176,318,466,652,802,1046,1336,1610,1900
65 FOR i = 1 TO 9 : READ D(i) : NEXT i
70 DATA .480,.600,.700,.800,.900,1.000,1.100,
        1.200 1.300
75 INPUT "Rezistențe termice depuneri interioare/exterioare, m20C/W, Rdi = ";Rdi, "Rde =";Rde
80 INPUT "Conductivitate termică tub, W/moC, Lt=";Lt
85 INPUT "Durata normată de serviciu, ani, Dns =";Dns
90 INPUT "Coeficient majorare cheltuieli (0—1), y=";y
95 INPUT "Timp anual exploatare, h/an, Tau =";Tau
100 INPUT "Cost energie electrică, lei/Wh, cen =" ; cen
105 INPUT "Randament global pompă, Eta =";Eta
110 INPUT "Diametre tuburi, m, de=" ; de, "di=" ; di, "pasul tuburilor, m, s =";s
115 PRINT" INTRODUCEȚI pentru fluidul cald, mi-debitul masic, t1/t2—temperaturi intrare/ieșire, SI PROPRIETĂȚILE FIZICE LA TEMPERATURA MEDIE ; Ri—densitatea, Ci—căldura specifică, Li—conductivitatea termică, Ui—viscozitatea dinamică"
120 INPUT "mi(kg/s) =";mi, "tl(oC)=" ; tl, "t2(oC)=";t2, "Ri(kg/m3)=";Ri, "Ci(J/kgoC)=" ; Ci,"Li(W/moC)==";Li, "Ui(kg/ms)=";Ui
125 PRINT "INTRODUCEȚI pentru fluidul care se vaporizează, ts-temperatura de saturație, ps-presiunea de saturație, r= căldura latentă de vaporizare"
130 INPUT "ts(oC) =";ts, "ps(bar) = ";ps, "r(J/kg) ==";r
135 FOR j =1 TO 2 : FOR i =1 TO 9
140 IF j =1 THEN LET Np = 2
145 IF j =2 THEN LET Np = 4
150 IF de = .025 THEN GO TO 160
155 LET N(i,j) = M(i,j)
160 LET n = N(i,j)
165 LET Q = mi*Ci*(t1 — t2)
170 LET mc = Q/r
175 LET Dt1 = t1 — ts : LET Dt2 = t2 — ts
180 LET Dt = (Dt1 — Dt2)/LN (Dt1/Dt2)
185 LET w = 4*mi*Np/(Ri*n*PI*di↑2)
190 LET Re = di*w*Ri/Ui
195 LET Pr = Ci*Ui/Li
200 LET Alfi = .0263*Li*Re↑.8*Pr↑.35/di
205 IF Re > 10000 THEN GO TO 220
210 LET b = 1 — 6E5/Re↑1.8
215 LET Alfi = b*Alfi
220 LET tp = ts + 15
225 LET Dte = tp — ts
230 LET Alfel = 25.96*ps↑.5867*Dte↑2.333
235 LET t = .5*(tl + t2)
240 LET tpc = (t*Alfi*di/de + Alfel*ts)/(Alfel+Alfi*di/de)
245 IF ABS (tpc — tp) < .01 THEN GO TO 260
250 LET tp = tp + .15*(tpc — tp)
255 GO TO 225
260 LET G = Alfel*PI*de*Dte/(r*(s— de))
265 IF Np = 2 THEN LET Ns = (D(i)— .06)/(s*3↑.5)
270 IF Np = 4 THEN LET Ns = (D(i)— .10)/(s*3↑.5)
272 LET Ns = INT Ns
273 LET a = .24*LN Ns — .42
275 LET Alfe = Alfel*.714*((s— de)/.3048)↑(.03097*G)/
/(Ns↑a)
280 LET ked = 1/(de/(Alfi*di) + Rdi*de/di + de*LN (de/di)/(2*Lt) + Rde + 1/Alfe)
285 LET Ae = Q/(ked*Dt)
290 LET Lf = Ae/(n*PI*de)
295 LET Cs = 5.65E5 + 2250*Ae
300 LET CA = (1 + y)*Cs/Dns
305 IF Re < 1E5 THEN LET f = .4205/Re↑.243
310 IF Re > 1E5 THEN LET f = .1694/Re↑.164
320 LET Dp = 1.3*f*Np*Ri*w↑2*Lf/(2*di)
330 LET CE = mi*Tau*cen*Dp /(Ri*Eta)
335 LET CT = CA + CE
340 PRINT"
345 PRINT" REZULTATE PENTRU SCHIMBĂTORUL CU
        Np =";Np, "de =";de, "Varianta i =" ; i
350 PRINT"
355 PRINT " n =";n, "D(";i;")=";D(i)
360 PRINT " Lf =";Lf
365 PRINT " w= ";w, "Re =";Re
370 PRINT " Alfi =";Alfi, "Alfe =";Alfe
375 PRINT " ked =";ked, "Ae = ";Ae
```

```
330 PRINT "tp=";tp, "tpc=";tpc
385 PRINT "Dp=";Dp
390 PRINIT "CA =";CA, "CE =";CE
395 PRINT "CT = ';CT
400 PRINT"++++++++++++++++++++++"
405 NEXT i
410 PRINT"CAZUL CU PATRU TRECERI"
415 PRINT "_____"
420 NEXT j
425 STOP
```

Bibliografie

[1] Beveridge, G. S. şi Schechter, C. S. *Optimization-theory and practice.* McGraw-Hill, New York, 1970.

[2] Collier, J. G. *Convective boiling and condensation.* McGraw-Hill, New York, 1972.

[3] Dobrinescu, D. *Procese de transfer termic şi utilaje specifice.* E. D.P., Bucureşti, 1983.

[4] Dobrinescu, D. *Termoenergetica combinatelor petrochimice.* I.P.G., Ploieşti, 1985.

[5] Fanaritis, J. P. şi Streich, H. J. *Heat recovery in process plants.* În: Chem. Eng., 28 mai 1973, p. 80—88.

[6] Ganapathy, V. *Optimum desing of waste heat boilers.* În: Hydr. Proc., iul. 1981, p. 167.

[7] Hinchley, P. *Waste heat boilers — Problems and solutions.* În: Chem. Eng. Progr., mart. 1977, p. 90—96.

[8] Kakac, S., Bergles, A. E. şi Mayin, ger, F. *Heat exchangers.* McGraw-Hill, New York-1981.

[9] * * * :*Modelarea matematică a proceselor de transfer de căldură şi optimizarea echipamentului de schimb de căldură.* Academia de Ştiinţe, Kiev, 1979.

[10] Peters, M. şi Timmerhaus, K. *Plant design and economics for chemical engineers.* McGraw-, Hill, New York, 1980.

[11] Rohsenow, W. M. şi Hartnett, J. P. *Handbook of heat transfer.* McGraw-Hill, New York 1973.

[12] Vogt, G. A. şi Wolters, M. J. *Steam balance design maximizes heat recovery in refineries plants.* În: Oil and Gas Journal, 1 mart. 1976, p. 94—97.

(Primit la 5 mai 1988, acceptat la 1 august 1988)

Analiza cu elemente finite a cîmpurilor termice din semifabricate, la turnarea continuă

Dr. ing. CONSTANTIN BRĂTIANU, ing. MIHAI MARIUS VORONCA, dr. ing. CORNEL ROTARU *

Dascriptori: cimpuri termice, elemente finite

Lucrarea prezintă ideile de bază şi principalele etape de modelare numerică cu elemente finite a cimpurilor termice conductive bidimensionale. Se folosesc elemente finite triunghiulare liniare. Programul TERMIC—2DN realizat de autori pe baza modelului numeric cu elemente finite este capabil să analizeze cimpuri termice conductive în medii omogene şi neomogene, izotrope şi neizotrope, cu proprietăţi termice liniare şi neliniare. Regimul termic analizat poate fi staţionar sau tranzitoriu.

Cu ajutorul programului TERMIC—2DN s-au efectuat o serie de analize ale cimpurilor termice din semifabricatele aflate pe un pat de răcire pentru a determina distribuţia de temperatură şi variaţia ei în timp într-o secţiune a ţaglei, precum şi intervalul de timp după care se produce omogenizarea cimpului termic. Toate aceste informaţii sînt oarte utile pentru evaluarea cantităţii de căldură care se poate recupera din căldura fizică a semifabricatelor.

This paper presents basic ideas and the main steps for the finite element modelling of the 2D conductive thermal fields. The TERMIC—2DN computer program developed by this paper's authors is able to analyze conductive thermal fields in homogeneous and non—homogeneous media, having linear and non—linear thermal properties. Thermal fields may be steady state or transient. We used linear triangular finite elements.

Using TERMIC—2DN we made a series of thermal field analyses in semi-manufactured products on the cooling beds, n order to obtain: temperature distribution in a bar cross section, its time variation and the time interval needed for field uniformization. All this information is very useful for the recovery heat evaluation.

Introducere

În stadiul actual de modernizare a procesului tehnologic din uzinele metalurgice, caracterizat printre altele de promovarea tehnologiilor cu consumuri reduse de energie şi combustibil, introducerea pe scară largă a procedeului de turnare continuă deţine un loc important. Ponderea cantităţii de semifabricate realizate prin turnare continuă în totalul producţiei, variază în limite largi de la 30—40% la 80—90% de la o ţară la alta, fiind mai mare în cadrul ţărilor puternic industrializate [6].

Acest procedeu elimină consumul de combustibil aferent secţiei de cuptoare din laminoarele degrosiere şi creează totodată o importantă resursă energetică secundară sub formă de căldură fizică, a semifabricatelor calde evacuate din maşina de turnare continuă.

Procedeul de turnare continuă nu poate fi urmat — în prezent — de trecerea directă a semifabricatelor la laminor, datorită dificultăţilor de amplasare a liniilor tehnologice şi respectiv celor de organizare a unei laminări directe. Dirijarea semifabricatelor spre patu-

* Dr. ing. Constantin Brătianu-şef lucrări la Facultatea de Electrotehnică şi Energetică, ing. Mihai Marius Voronca-asistent la aceeaşi facultate, dr. ing. Cornel Rotaru — ICEM

rile de răcire, după extragerea lor din maşina de turnare continuă, este impusă de o serie de considerente ca:

— imposibilitatea transportării lor directe la laminor, cu conservarea căldurii fizice;

— necesitatea controlului la rece şi respectiv a sortării şarjelor turnate continuu;

— realizarea unei game largi de tipodimensiuni şi clase de calitate, în cantităţi relativ reduse, ceea ce nu permite funcţionarea în flux de laminare directă şi nici încărcarea caldă în cuptoarele cu propulsie care au, de asemenea, flux continuu.

Aşadar, chiar în cazul unei optimizări a procesului metalurgic integrat, căldura fizică a semifabricatelor turnate continuu reprezintă o rezervă importantă, care constituie aproximativ 50% din căldura oţelului lichid introdus în maşina de turnare continuă. Se apreciază că aproximativ jumătate din această cantitate de căldură poate fi recuperată şi folosită pentru producerea de apă caldă sau abur de joasă presiune. De exemplu, în cazul unui proces metalurgic de tipul oţelărie electrică-turnare continuă-laminor finisor, care consumă în medie 700 kWh/t la elaborare, căldura semifabricatelor extrase din maşina de turnare reprezintă 210 kWh/t, din care se pot recupera aproximativ 120 kWh/t oţel lichid [6].

Evaluarea căldurii care poate fi recuperată din semifabricatele turnate continuu implică însă cunoaşterea distribuţiei de temperatură a semifabricatelor şi respectiv evoluţia ei în timp. Aceasta constituie o problemă deosebit de complicată, deoarece prin măsurători directe se poate cunoaşte cel mult distribuţia de temperatură pe suprafaţa laterală a unui semifabricat şi eventual variaţia ei în timp. Cîmpul termic intern al semifabricatului rămîne practic inaccesibil măsurătorilor externe.

Problema evaluării distribuţiei interioare de temperatură poate fi rezolvată prin modelare matematică şi simulare pe calculator. Scopul prezentei lucrări este de a arăta care sînt etapele mai importante în procesul modelării matematice cu elemente finite şi apoi de rezolvare a modelului numeric, pentru cîteva cazuri practice de cunoaştere a temperaturii la suprafaţa semifabricatului.

1. Modelare matematică

Procesul fizic analizat este cel de transfer de căldură în medii solide, omogene, cu proprietăţi termice liniare şi fără surse interne de căldură. Din punct de vedere geometric, semifabricatele la care ne referim sînt practic nişte bare, cu secţiuni pătratice. Din punct de vedere funcţional, barele se află într-un regim termic tranzitoriu de răcire. Presupunînd că transferul de căldură de la o astfel de bară la mediul ambiant se face prin convecţie şi radiaţie, în mod asemănător pe întreaga suprafaţă exterioară, putem considera că variaţia de temperatură de-a lungul barei este practic neglijabilă în comparaţie cu variaţia temperaturii într-o secţiune a sa. De aici, se obţine concluzia de modelare a cîmpului termic din semifabricat folosind un model bidimensional (2D). Cu ajutorul acestui model se va putea deci cunoaşte distribuţia de temperatură în orice secţiune a semifabricatului, în funcţie de condiţiile termice impuse pe suprafaţa exterioară a semifabricatului [14, 5].

Modelul numeric are la bază un model analitic format dintr-o ecuaţie fundamentală, o ecuaţie constitutivă, condiţii iniţiale şi respectiv condiţii la limită. Ecuaţia fundamentală este dată de legea lui Fourier generalizată, exprimată pentru medii continue, omogene sau neomogene, cu proprietăţi termice liniare. Ecuaţia constitutivă în acest caz este de forma $\lambda = \text{constant}$, fapt pentru care nu apare în mod explicit în model. Condiţiile iniţiale ne oferă informaţii asupra cîmpului termic în momentul începerii analizei, iar condiţiile la limită descriu modul de interacţiune dintre cîmpul termic analizat şi cîmpul termic exterior semifabricatului. Structura modelului analitic diferenţial este următoarea:

$$\lambda\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}\right)=\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t},\ \forall (x,\ y)\in V \qquad (1)$$

$$T = T_0,\ \forall (x,\ y)\in V,\ t \leqslant 0 \qquad (2)$$

$$T = g(x,\ y),\ \forall (x,y)\in S_T \qquad (3)$$

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial x} n_x + \lambda \frac{\partial T}{\partial y} n_y + q = 0,\ \forall (x,y)\in S_q \qquad (4)$$

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial x} n_x + \lambda \frac{\partial T}{\partial y} n_y + \alpha (T - T_\alpha) = 0,\ \forall (x,\ y)\in S_\alpha, \qquad (5)$$

unde:

T este funcţia de temperatură;
t — timpul;
$x,\ y$ — coordonatele carteziene ale sistemului de referinţă ales;
λ — coeficientul de transfer al căldurii prin conducţie;
q — fluxul termic de la semifabricat la mediul ambiant;
α — coeficientul de transfer al căldurii prin convecţie la mediul ambiant;
T_0 — valoarea iniţială a temperaturii în domeniul considerat;
T_α — temperatura mediului ambiant;
n_x, n_y — componentele versorului normalei la frontierea domeniului de analiză V, într-un punct dat;

S_T — segmentul de frontieră pe care se specifică temperatura;

S_q — segmentul de frontieră pe care se specifică fluxul termic unitar;

S_α — segmentul de frontieră pe care se specifică temperatura mediului ambiant.

Se pot scrie deci relațiile:

$$S_T \cup S_q \cup S_\alpha = S\,; \quad S_q \cap S_\alpha = \emptyset$$
$$S_T \cap S_q = \emptyset\,; \quad S_\alpha \cap S_T = \emptyset \tag{6}$$

Modelul analitic diferențial (1) — (6) prezentat mai sus nu poate fi rezolvat direct decît pentru cazuri foarte simple, idealizate. De aceea, pentru rezolvarea problemelor practice el se transformă într-un model numeric și se implementează pe calculator. Modelul numeric poate fi cu diferențe finite sau cu elemente finite. În primul caz, modelul analitic de lucru este chiar cel prezentat mai sus, în formă diferențială. În cel de-al doilea caz, modelul analitic diferențial se transformă într-un model analitic integral, care se ia ca bază în obținerea modelului numeric [3, 4].

Transformarea modelului analitic diferențial (1) — (6) într-un model integral se poate face folosind una dintre metodele reziduurilor ponderate (de exemplu, metoda Galerkin), sau metoda variațională. Această ultimă formulare prezintă, în general, avantajul unei interpretări fizice a rezultatului matematic, în sensul realizării unei stări de minim, maxim sau de staționaritate pentru cîmpul termic.

Specific pentru metoda variațională este obținerea unei funcționale de forma:

$$\pi = \int_V \frac{\lambda}{2}\left[\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial y}\right)\right]^2 \mathrm{d}V + \int_V \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t}\mathrm{d}V + \int_{S_q} qT\mathrm{d}S + \int_{S_\alpha} \frac{\alpha}{2}(T - T_\alpha)^2\,\mathrm{d}S \tag{7}$$

astfel ca $\delta\pi = 0$ să reprezinte o condiție de staționaritate pentru cîmpul termic analizat. În această formulare variațională, termenul $\partial T/\partial t$ se consideră constant. Se poate spune că funcția de temperatură $T(x, y, t)$ care satisface modelul analitic (1) — (5), va satisface și condiția de staționaritate de mai sus [2].

Pentru obținerea modelului numeric s-au folosit elemente finite triunghiulare liniare, caracterizate prin temperaturi nodale T_i, T_j, T_k și respectiv trei funcții de forma $N_i(x, y)$, $N_j(x, y)$, $N_k(x, y)$. Cu ajutorul lor, temperatura din orice punct al elementului finit se exprimă cu ajutorul expresiei [4]:

$$\hat{T}(x, y, t) = N_i(x, y)\,T_i(t) + N_j(x, y)\,T_j(t) + N_k(x, y)\,T_k(t). \tag{8}$$

Definind matricea funcțiilor de formă $\underset{\sim}{N}$ și respectiv vectorul temperaturilor nodale $\underset{\sim}{T}^e$:

$$\underset{\sim}{N} = [N_i(x, y)\,;\ N_j(x, y)\,;\ N_k(x, y)]\,; \quad \underset{\sim}{T}^e = \begin{bmatrix} T_i(t) \\ T_j(t) \\ T_k(t) \end{bmatrix}, \tag{9}$$

se obține expresia matriceală a funcției de aproximare a temperaturii:

$$\hat{T}(x, y\ t) = \underset{\sim}{N}\,\underset{\sim}{T}^e. \tag{10}$$

De asemenea, definim matricele:

$$\underset{\sim}{B} = \begin{bmatrix} \dfrac{\partial N_i}{\partial x} & \dfrac{\partial N_j}{\partial x} & \dfrac{\partial N_k}{\partial x} \\ \dfrac{\partial N_i}{\partial y} & \dfrac{\partial N_j}{\partial y} & \dfrac{\partial N_k}{\partial y} \end{bmatrix}; \quad \underset{\sim}{D} = \begin{bmatrix} \lambda & 0 \\ 0 & \lambda \end{bmatrix} \tag{11}$$

Introducem expresiile (9)—(11) în funcționala (7) și impunem condiția de staționaritate. Se obține ecuația matriceală elementală:

$$\left(\int_{V^e} \rho c_p\,\underset{\sim}{N}^T \cdot \underset{\sim}{N}\,\mathrm{d}V\right)\dot{\underset{\sim}{T}}^e + \left(\int_{V^e} \underset{\sim}{B}^T\,\underset{\sim}{D}\,\underset{\sim}{B}\,\mathrm{d}V + \int_{S_\alpha^e} \alpha\,\underset{\sim}{N}^T\,\underset{\sim}{N}\,\mathrm{d}S\right)\cdot \underset{\sim}{T}^e = -\int_{S_q^e} q\,\underset{\sim}{N}^T\,\mathrm{d}S + \int_{S_\alpha^e} \alpha\,T_\alpha\,\underset{\sim}{N}^T\,\mathrm{d}S, \tag{12}$$

unde indicele „e" desemnează elementul finit. Pentru a simplifica se fac următoarele notații:

$$\underset{\sim}{K}_1^e = \int_{V^e} \rho c_p\,\underset{\sim}{N}^T\,\underset{\sim}{N}\,\mathrm{d}V\,; \quad \underset{\sim}{K}_2^e = \int_{V^e} \underset{\sim}{B}^T\,\underset{\sim}{D}\,\underset{\sim}{B}\,\mathrm{d}V$$

$$\underset{\sim}{K}_3^e = \int_{S_\alpha^e} \alpha\,\underset{\sim}{N}^T\,\underset{\sim}{N}\,\mathrm{d}S\,; \quad \underset{\sim}{K}_4^e = \int_{S_\alpha^e} \alpha T_\alpha\,\underset{\sim}{N}^T\,\mathrm{d}S - \int_{S_q^e} q\,\underset{\sim}{N}^T\,\mathrm{d}S \tag{13}$$

Cu aceste notaţii, ecuaţia matriceală elementală devine :

$$\underset{\sim}{K}_1^e \dot{\underset{\sim}{T}}^e + (\underset{\sim}{K}_2^e + \underset{\sim}{K}_3^e) \cdot \underset{\sim}{T}^e = \underset{\sim}{K}_4^e. \qquad (14)$$

Asamblînd toate cele n elemente finite din domeniul discretizat, se obţine ecuaţia finală :

$$\underset{\sim}{K}_1 \cdot \dot{\underset{\sim}{T}} + (\underset{\sim}{K}_2 + \underset{\sim}{K}_3)\, \underset{\sim}{T} = \underset{\sim}{K}_4. \qquad (15)$$

Rezolvarea acestei ecuaţii se face folosind metode numerice cunoscute. Pentru cazul considerat, s-a folosit metoda de factorizare Cholesky şi respectiv substituţia înapoi. Această combinaţie de procedee, amplificată printr-o stocare a matricei coeficient sub formă de semibandă, conduce la o eficienţă computaţională maximă [3].

2. Program de calcul cu elemente finite

Programul de calcul TERMIC-2DN este un program de explorare capabil să efectueze analize de cîmpuri termice staţionare şi tranzitorii, în corpuri solide, omogene şi neomogene, izotrope şi anizotrope, cu proprietăţi fizice liniare şi neliniare în geometrii bidimensionale. TERMIC-2DN are o structură modulară (fig. 1), cu multiple opţiuni pentru utilizator. Folosirea acestui program impune parcurgerea următoarelor etape de lucru :

a) introducerea datelor iniţiale :

b) calculul coeficienţilor matricelor elementale, sinteza şi expandarea acestora pentru obţinerea matricei globale a sistemului de ecuaţii ;

c) implementarea condiţiilor la limită de tip Cauchy pentru formarea termenului liber şi apoi a condiţiilor la limită de tip Dirichlet pentru modificarea matricelor $\underset{\sim}{K}_2$ şi $\underset{\sim}{K}_4$;

d) rezolvarea sistemului de ecuaţii şi obţinerea distribuţiei de temperaturi $\underset{\sim}{T}$ pentru cazul mediilor cu proprietăţi fizice liniare şi al regimurilor termice staţionare ;

e) reluarea ciclului de calcul pentru cazul mediilor cu proprietăţi fizice neliniare (metoda iteraţiilor succesive) şi/sau pentru cazul regimurilor termice tranzitorii (după o schemă simplă cu diferenţe finite).

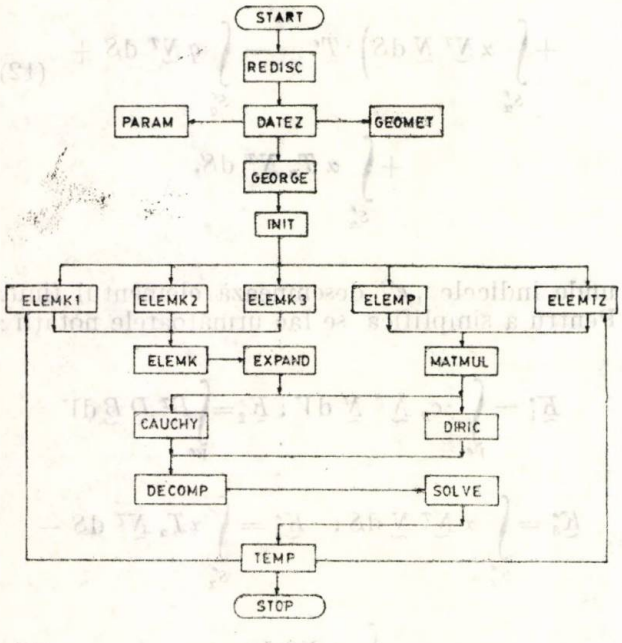


Fig. 1. Structura programului cu elemente finite TERMIC-2DN

Subrutinele care intră în componenţa programului TERMIC-2DN şi funcţiile îndeplinite de acestea sînt prezentate în continuare : REDISC-introducerea parametrilor reţelei de discretizare pentru domeniul de analiză ; PARAM-introducerea parametrilor geometrici şi a condiţiilor la limită ; DATEZ-introducerea proprietăţilor fizice ale materialelor constituente ; GEOMET-calcularea coordonatelor nodurilor reţelei de discretizare şi generarea matricei de conexiuni ; GEORGE-calcularea lungimii de semibandă pentru matricea coeficienţilor ; INIT-iniţializarea tablourilor de variabile care definesc sistemul matriceal global ; ELEMK1, ELEMK2, ELEMK3-calcularea coeficienţilor matriceali care sînt apoi sintetizaţi în matricea elementală ; ELEMP-calcularea termenului liber ; ELEMTZ-recalcularea termenului liber pentru regimurile termice tranzitorii ; ELEMK-calcularea matricei elementale ; EXPAND-asamblarea tuturor elementelor finite după noduri, generarea matricei globale şi a vectorului termenului liber ; MATMUL-recalcularea componentelor termenului liber pentru cazul regimurilor termice tranzitorii ; CAUCHY-recalcularea componentelor termenului liber prin implementarea condiţiilor la limită de tip Cauchy ; DIRIC-recalcularea coeficienţilor matricei globale şi a termenului liber prin implementarea condiţiilor la limită de tip Dirichlet ; DECOMP, SOLVE-rezolvarea sistemului matriceal.

Programul TERMIC-2DH a fost implementat pe calculatoare din familiile FELIX, M18, M118 şi ROBOTRON.

3. Aplicaţii numerice

Cu ajutorul programului TERMIC-2DN am realizat o serie de aplicaţii pentru ţagle cu secţiuni pătratice de diverse dimensiuni şi respectiv pentru o serie de condiţii iniţiale şi la limită. Toate cîmpurile termice au fost analizate în dinamica lor în timp, urmărindu-se

să se obțină : a) distribuția spațială a cîmpului termic ; b) variația acestei distribuții în timp ; c) timpul de aplatisare a cîmpului termic.

În cele ce urmează se vor prezenta pentru ilustrare numai două cazuri : țagle cu secțiune pătratică cu dimensiunile de 160 × 160 mm și respectiv de 230 × 230 mm. Conductivitatea termică a oțelului este $\lambda = 60$ W/m°C, densitatea $\rho = 7850$ kg/m^3, căldura specifică $c_p = 461$ J/kg. Pentru ambele cazuri s-a considerat o distribuție inițială a temperaturii de tip parabolic cu temperatura maximă de 1400 °C. Pentru condiții la limită s-a considerat o temperatură de suprafață inițială de 850°C, uniformă pe întreaga suprafață laterală a semifabricatului. Menționăm că temperaturile la suprafața metalului au fost măsurate cu ajutorul pirometrelor de radiație. Pentru a realiza o apropiere mai mare de situația reală, s-au considerat condițiile la limită ca fiind variabile în timp. Cu alte cuvinte, pe baza măsurătorilor efectuate s-a obținut un polinom de interpolare caracteristic, cu ajutorul căruia s-au determinat apoi pasul de timp și decrementul temperaturii de suprafață.

Pentru regimul tranzitoriu de ansamblu s-a considerat un pas de timp $\Delta t = 0{,}3$ secunde, pentru a surprinde cît mai fidel fenomenul fizic și a evita eventualele oscilații numerice. Pentru o serie de experiențe numerice efectuate s-a constatat că variația cea mai importantă a cîmpului se produce în primele 10 minute de la punerea semifabricatului pe patul de răcire În mod acoperitor, deci, s-a considerat un interval de analiză de 13 minute, ceea ce înseamnă aproximativ 2 550 de secvențe calculate pentru variația cîmpului termic în timp.

Domeniul de analiză l-a constituit o secțiune transversală prin semifabricat (țaglă). Deși dimensiunile celor două tipuri de țagle diferă, discretizarea domeniilor de analiză se face la fel (fig. 2). S-au considerat 72 de elemente finite și 49 de noduri. Dintre acestea, 24 de noduri se află pe frontieră și au fost considerate pentru analizele noastre noduri Dirichlet (noduri cu temperaturi specificate).

În figura 3 se prezintă grafic variația cîmpului termic în timp, pentru țagle de 160 × 160 mm, în planul central determinat de nodurile 22—28. Nodul 25 se află situat pe axa centrală a semifabricatului, deci el ne indică întotdeauna temperatura maximă.

Similar, în figura 4 se prezintă variația cîmpului termic în timp, pentru țagle de 230 × × 230 mm. Printr-o comparație directă a celor două figuri rezultă că țaglele de 160 × 160 mm se răcesc mai repede decît cele de 230 × 230 mm. Aceasta se explică prin faptul că raportul dintre suprafața laterală și volum în primul caz este mai mare decît în cel de-al doilea caz $(S_{160}/V_{160}) > (S_{230}/V_{230})$. Cum transferul de căldură se face prin suprafața laterală, rezultă o variație mai rapidă a cîmpului termic în timp pentru țaglele de 160 × 160 mm.

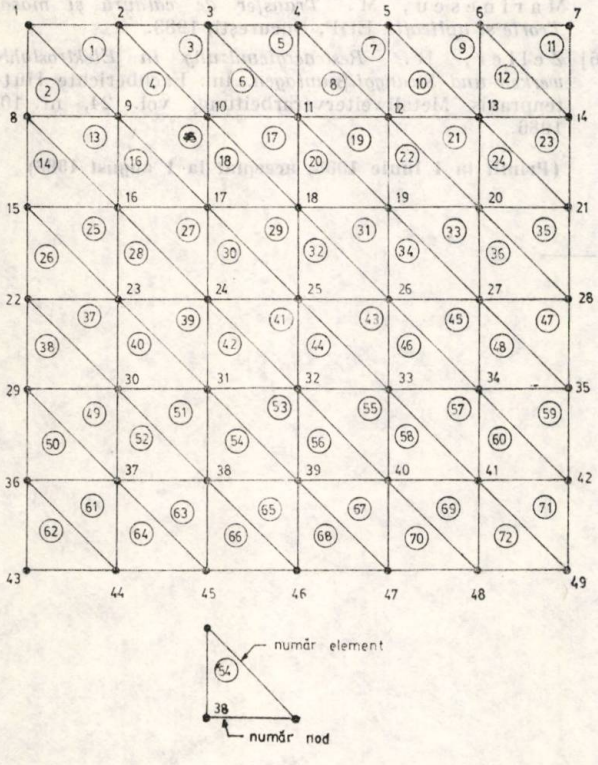


Fig.2. Discretizarea domeniului de analiză.

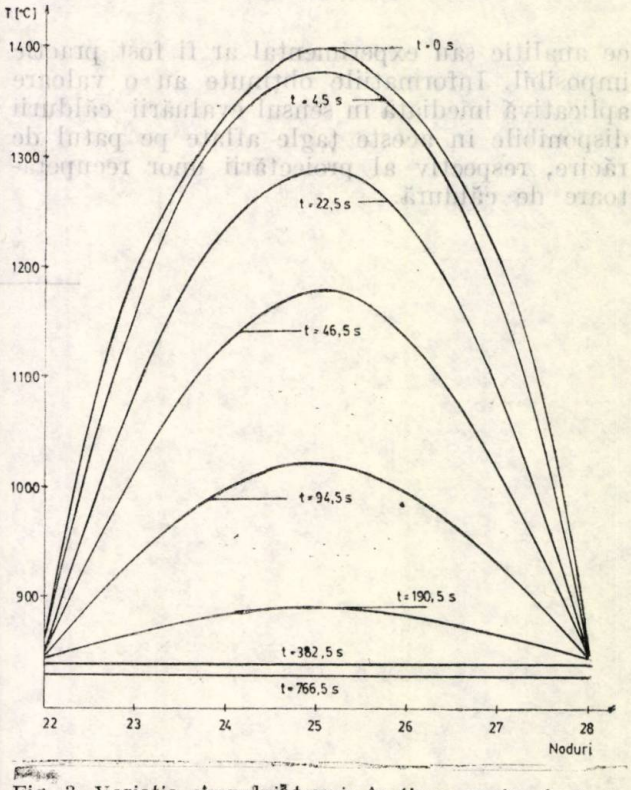


Fig. 3. Variația cîmpului termic în timp, pentru țagle de 160 × 160 mm.

Aceste rezultate numerice oferă, deci, posibilitatea de a cunoaşte distribuţia de temperatură în interiorul ţaglelor şi variaţia ei în timp, ceea

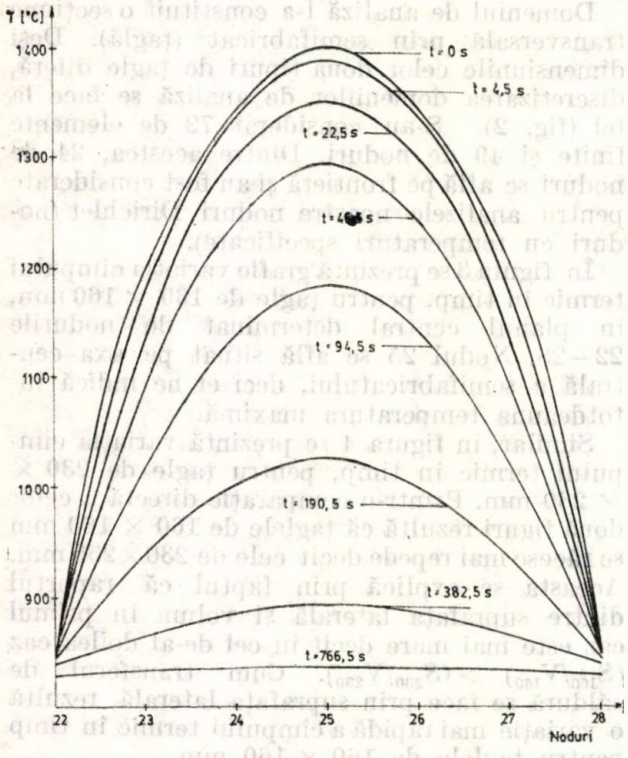


Fig. 4. Variaţia cîmpului termic în timp, pentru ţagle de 230 × 230 mm.

ce analitic sau experimental ar fi fost practic imposibil. Informaţiile obţinute au o valoare aplicativă imediată în sensul evaluării căldurii disponibile în aceste ţagle aflate pe patul de răcire, respectiv al proiectării unor recuperatoare de căldură.

Concluzii

Semifabricatele calde obţinute prin turnare continuă, a căror călură fizică se pierde, în prezent, prin răcire liberă, constituie o sursă de căldură de potenţial termic ridicat.

Recuperarea acestei cantităţi de căldură ridică o serie de probleme specifice care pot fi clasificate în două categorii mai importante: legate de organizarea fluxului de producţie şi legate de transferul de căldură.

Prezenta lucrare se încadrează în cea de a doua clasă de probleme, propunînd o metodă concretă de modelare şi analiză a cîmpurilor termice din ţagle, în scopul evaluării potenţialului termic recuperabil. Metoda are la bază modelarea numerică cu elemente finite şi programul de calcul TERMIC-2DN, realizat de autori. Rezultatele numerice obţinute au confirmat ipotezele de lucru făcute şi au oferit informaţii preţioase în evaluarea potenţialului termic recuperabil.

Bibliografie

[1] Brătianu, C., Rotaru, C. *Modelarea cîmpurilor termice în lingouri.* În: Energetică. Tehnologii specifice altor industrii, Universitatea Galaţi, 1983.

[2] Brătianu, C. *Formularea variaţională a transferului de căldură prin conducţie.* În: Buletinul IPB, Seria Energetică, tom XLVI/VII, pag. 107—115, 1984/85.

[3] Brătianu, C. *Metode cu elemente finite în transferul de căldură,* vol. 1. IPB, Bucureşti, 1987.

[4] Olariu, V., Brătianu, C. *Modelarea numerică cu elemente finite.* Editura Tehnică, Bucureşti, 1986.

[5] Ştefănescu, D., Leca, A., Badea, A., Marinescu, M. *Transfer de căldură şi masă. Teorie şi aplicaţii.* EDP, Bucureşti, 1983.

[6] Zeller, R. *Restenergienutzung in Elektrostahlwerken und Stranggieß-anlagen.* În: Fachberichte Hüttenpraxis Metallweiterverarbeitung, vol. 24, nr. 10, 1986.

(Primit la 1 iunie 1988, acceptat la 1 august 1988)

Principii de compensare a puterii reactive în Sistemul Energetic Național. Aspecte privind necesarul de mijloace de compensare a puterii reactive în zona Moldova

Ing. MONICA UNGUREANU, ing. GHEORGHE MANEA*

Descriptori : putere reactivă, sisteme electroenergetice

În articol se prezintă principiile utilizate în sistemul energetic al R.S.R. pentru planificarea mijloacelor de compensare a puterii reactive, evidențiindu-se funcția obiectiv utilizată și restricțiile tehnice avute în vedere la stabilirea soluției de compensare.

Se inventariază sursele de compensare existente în prezent în Sistemul Energetic Național, detaliindu-se cele existente în zona Moldova și perspectivele de introducere a compensatoarelor statice.

The paper presents the principles applied in the Romanian power grid for planning reactive power compensation means outlining as well the function objective used and the technical restrictions to be observed when deciding upon the compensation solution.

The compensation sources existing at present in the national power grid are enlisted with special reference to the ones of the Moldavia region and the future possibilities of introducing static compensators are presented.

Compensarea puterii reactive, constituie o problemă de interes major în energetică pe plan mondial. În ultima vreme CIGRE a lansat chestionare referitoare la principiile de compensare a puterii reactive și realizările în domeniu. Pe baza schemei de organizare a unui asemenea chestionar, în cele ce urmează se face o scurtă prezentare a principiilor de compensare a puterii reactive aplicate în SEN, precum și exemplificări referitoare la mijloacele de compensare utilizate în prezent și în perspectivă.

Compensarea puterii reactive reprezintă una din principalele măsuri ce conduc la optimizarea regimurilor de funcționare din punct de vedere tehnic și economic. Sub aspect economic, compensarea puterii reactive favorizează reducerea consumului propriu tehnologic (CPT) în rețelele electrice, iar din punct de vedere tehnic, compensarea puterii reactive asigură menținerea tensiunilor în sistem în benzile admisibile de funcționare în regimur normale și de avarie.

1. Dotarea SEN al R.S. România cu mijloacei de compensare a puterii reactive

La sfîrșitul anului 1987, puterea instalată în SEN în grupuri generatoare era de circa 20 000 MW. Necesarul de putere reactivă consumată în sistem nefiind acoperit integral de grupurile generatoare, se utilizează mijloace de compensare a puterii reactive, care contribuie și la optimizarea funcționării SEN. Astfel la finele anului 1987 în SEN existau montate în rețelele M.E.E. :

— compensatoare sincrone de 60 Mvar — 9 bucăți la stațiile 110 kV din :Brașov (1buc.), Arad (1buc.), Timișoara (1 buc.), Gura Ialomiței (1buc.), Tulcea (2 buc.), Iași Galata (2 buc.) Suceava (1 buc.);

— baterii de condensatoare de MT — circa 1120 Mvar;

—bobine de reactanță de 50 și 100 Mvar, totalizînd 780 Mvar.

Pentru etapa 1988 — 1990 se prevede supli, mentarea bateriilor de condensatoare cu încă 288 Mvar în SEN. Repartizarea lor pe zone se face diferențiat, în funcție de deficitul în putere activă și reactivă și de sensibilitatea nodurilor din sistem în reducerea consumului propriu tehnologic.

2. Principii de compensare a puterii reactive adoptate în R.S. România

În SEN sarcinile de compensare a puterii reactive sînt distribuite între consumatori și sistem. Conform instrucțiunii în vigoare (PE — 120/85) consumatorii au datoria realizării unui factor de putere de 0,92. În ceea ce privește SEN, în scopul optimizării regimurilor de funcționare, se urmărește realizarea unei

* Ing. Monica Ungureanu și Gheorghe Manea, Institutul de Studii și Proiectări Energetice București.

compensări diferențiate pe zone, la factori de putere optimi ce pot fi cuprinși între 0,9 și 0,97.

3. Obiectivele urmărite în planificarea mijloacelor de compensare a puterii reactive în SEN

Determinarea volumului de mijloace de compensare a puterii reactive se realizează urmărind îndeplinirea următoarelor obiective în funcționarea sistemului energetic:

a) minimizarea costului transportului și distribuției energiei electrice, cu respectarea benzilor admisibile de tensiune;

b) utilizarea intensivă a capacității de transport a rețelelor electrice prin descongestionarea lor de transportul puterii reactive;

c) asigurarea unei rezerve suficiente de putere reactivă în grupurile generatoare, în regim de vîrf de sarcină, pentru regimuri de funcționare mai grele decît cele considerate la dimensionare;

d) evitarea funcționării grupurilor generatoare cu absorție de putere reactivă în regimurile de gol de sarcină, pentru asigurarea rezervei de stabilitate.

4. Funcția-obiectiv utilizată în planificarea mijloacelor de compensare a puterii reactive

Stabilirea cantității de mijloace de producere și absorbție a puterii reactive se face urmărind minimizarea costurilor de investiții și a cheltuielilor de exploatare în rețelele de transport și distribuție, pe baza metodei cheltuielilor totale actualizate. În practică, planificarea de surse de putere reactivă în SEN, pentru o anumită etapă de dezvoltare, se realizează prin analiza eficienței fiecărui Mvar instalat. Astfel, atît timp cît instalarea unui Mvar în SEN conduce la cheltuieli totale de funcționare a sistemului mai mici decît în ipoteza neinstalării, se continuă procesul de alocare. Pentru ușurința calculului s-a determinat un echivalent minim de reducere de pierderi, necesar justificării instalării unui Mvar în sistem (circa 30 kW/Mvar). În cazul în care reducerea de pierderi rezultată în urma instalării unui Mvar este superioară acestui echivalent minim, soluția se justifică din punct de vedere economic.

Programele de calcul utilizate sînt FAST și NEWOPT. Programul FAST determină circulații de puteri pe linii, tensiuni în noduri și consumul propriu tehnologic, pe baza unei metode de decuplare rapide (P/δ și Q/U).

Programul NEWOPT stabilește amplasarea optimă a cantităților de mijloace de compensare a puterii reactive, prin analizarea pas cu pas a evoluției coeficientului de sensibilitate al nodurilor din rețeaua analizată.

Prin coeficient de sensibilitate la compensare (μ — k/WMvar) se înțelege eficiența compensării cu 1 Mvar în reducerea de pierderi în rețele, a fiecărui nod din rețeaua respectivă.

5. Restricții tehnice avute în vedere la stabilirea soluției de compensare în SEN

În urma determinării cantității optime economic de mijloace de compensare a puterii reactive, se verifică respectarea următoarelor restricții tehnice în funcționarea SEN:

A. Menținerea în regimuri normale și de avarie a tensiunilor în benzile admisibile. Prin regim de avarie a unei zone se consideră ieșirea din funcționare a unui element de configurație (linie, AT) sau a celui mai mare grup generator din zonă. Aceste regimuri de funcționare (n — 1) se stabilesc în condițiile respectării deficitelor maxime admisibile din punctul de vedere al stabilității statice, determinate conform criteriilor de dimensionare a rețelei.

În regim normal, benzile de tensiune admisibile sînt:

— la 400 kV: 380 — 420 kV, adică $\pm$ 5%;
— la 220 kV: 200 — 242 kV, adică $\pm$ 10%;
— la 110 kV: 100 — 123 kV, adică $\pm$ 10%.

B. Nedepășirea tensiunii maxime la anclanșarea liniilor în gol.

C. Evitarea supraîncărcării elementelor rețelei electrice.

D. Menținerea funcționării stabile a generatoarelor electrice.

E. Asigurarea unei rezerve suficiente de putere reactivă.

6. Criterii de verificare a soluțiilor de compensare propuse

În urma stabilirii mijloacelor de compensare a puterii reactive, în condiții normale de funcționare („*n*" elemente de configurație) se verifică comportarea sistemului în caz de avarie („*n* — 1" elemente). În regimul staționar postavarie se urmărește respectarea deficitelor, respectiv a excedentelor maxime admise pe zone, condiționate de funcționarea stabilă a sistemului și se verifică respectarea condițiilor tehnice sus-citate.

7. Orizontul planificării

În planificarea surselor de putere reactivă, studiile se fac pentru perioade de maximum 5 ani, avînd în vedere necesitatea cunoașterii cu suficientă precizie a dezvoltării rețelei, centralelor electrice și consumatorilor.

8. Palierele curbei de sarcină analizate pentru dimensionarea volumului compensării

Ținînd cont de specificul curbei de sarcină a SEN, pentru stabilirea mijloacelor de produce-

er a puterii reactive (baterii de condensatoare, compensatoare sincrone sau statice) se analizează palierele de vîrf de sarcină maximă (de iarnă sau de vară). Palierul de gol de sarcină (gol noapte vara) se analizează pentru determinarea necesarului de mijloace de absorbție a puterii reactive (bobine de reactanță).

9. Mijloace de compensare a puterii reactive utilizate

Pentru producerea locală, la consumatori, a puterii reactive se utilizează baterii de condensatoare. Acestea sînt constituite din condensatoare de 100 kvar, de regulă din import. Pentru absorbția puterii reactive în regimurile de gol de sarcină se folosesc bobine de reactanță de 50 și 100 Mvar.

Pentru producerea și absorbția puterii reactive cu viteză mare de variație se utilizează compensatoare sincrone. Acestea contribuie la reglajul tensiunii în nodurile unde sînt racordate. Compensatoarele sincrone prezintă însă dezavantajul unor pierderi active mari în funcționare și unele dificultăți în exploatare, motiv pentru care în perspectivă se analizează oportunitatea introducerii de compensatoare statice de putere reactivă. Acestea nu comportă pierderi active în funcționare și au un cost mai redus decît compensatoarele sincrone. În studiile elaborate de ISPE s-a propus dotarea SEN cu compensatoare statice de plajă ($-30 \div +45$) kvar și ($-42 \div +63$) Mvar, fabricate în țară.

10. Cîteva aspecte privind necesarul de mijloace de compensare a puterii reactive în zona Moldova

Zona Moldova este o zonă a SEN, deficitară în centrale electrice. Studiile de compensare elaborate de ISPE au arătat că factorii de putere optimi pentru această zonă sînt cuprinși între 0,92 (IRE Bacău) și 0,97 (IRE Suceava, Iași).

Pentru reglajul concentrat al puterii reactive și al tensiunii, în nordul țării (Suceava) s-a instalat un compensator sincron de 60 Mvar, și două compensatoare de 60 Mvar în stația Galata. De asemenea, pînă la sfîrșitul anului 1987 s-au instalat circa 304 Mvar în baterii de MT.

În perspectivă, se estimează că factorii de putere optimi pentru zona Moldova se vor menține între valorile 0,92 și 0,95, prin instalarea în continuare în zonă a unor baterii de condensatoare și a unor compensatoare statice.

Bibliografie

[1] *Chestionar CIGRÉ referitor la utilizarea tehnicilor de optimizare a puterii reactive în planificarea sistemelor*, aprilie 1985.

[2] *Metode noi în planificarea mijloacelor de compensare a puterii reactive.* In: RGÉ, nr. 2/1987.

[3] *Aspecte generale privind reglajul de tensiune.* In: RGÉ, nr. 12/85.

(Primit la 24 noiembrie 1987, acceptat la 3 mai 1988)

Soluție alternativă pentru transportul pieselor grele și agabaritice din CNE

Ing. TRAIAN MAUNA, ing. DORIN CHIRICA, ing. SORIN GHIȚĂ *

Descriptori: centrale nuclearoelectrice, transporturi agabaritice

În lucrare s-a analizat o variantă de transport în subansambluri al principalelor echipamente din partea nucleară a unei centrale nuclearoelectrice de tip CANDU-700 MWe, variantă ce prezintă interes în cazul amplasamentelor situate în interiorul țării, pînă la care transportul gabaritelor și asigurarea căii de transport se fac cu dificultate.

Soluțiile preconizate au în vedere o analiză comparativă în raport cu implicațiile în fabricație.

The paper analyzes a variant for the transportation of subassemblies of the main nuclear equipment of a 700 MWe CANDU nuclear power plant. This variant refers to site a location inside the country where to the transportation of agabaritic parts and the transportation way itself raises several problems.

The presented solutions refer to a comparative analysis as well as to the implications on the manufacturing.

Cum a apărut problema

După cum este cunoscut, nu numai în rîndul specialiștilor, amplasarea unei centrale nuclearoelectrice (CNE) nu este legată nici de sursa de combustibil și nici de poziția fabricilor furnitoare. Ca și la alte obiective de mare capacitate, problema transportului pieselor grele și agabaritice (PGA) se are în vedere la analiza amplasamentelor.

În cazul centralelor echipate cu reactoare CANDU 700 MWe, cele mai grele piese și cu dimensiunile cele mai mari sînt în partea nucleară a centralei. Transportul acestora către amplasamente potențiale situate pe rîurile interioare, pe actualul sistem rutier, pune probleme legate atît de gabaritele libere de trecere, cît și de rezistența căii și a lucrărilor de artă și de parametrii geometrici ai traseului (pante, curbe etc.). De exemplu, din evaluări preliminare făcute pentru transportul pieselor grele și agabaritice la amplasamente situate pe cursul mijlociu al rîului Olt în zona Brașov — Sibiu a rezultat că:

— în cazul pieselor cu greutate peste 200 t, circa 95% din poduri ar trebui refăcute, consolidate sau ocolite pe noi variante de traseu;

— în cazul pieselor cu greutăți între 100 t și 200 t trebuie refăcute, consolidate sau ocolite circa 42% din poduri;

— în cazul pieselor sub 100 t ar trebui refăcute, consolidate sau ocolite circa 5% din poduri.

Variantele care pot fi avute în vedere pentru transportul pieselor grele și agabaritice sînt:

a) reconstruirea căilor de transport astfel încît să facă față tuturor cerințelor;

b) modificarea fabricației astfel încît echipamentele să fie furnizate în părți care să se înscrie în posibilitățile actuale ale sistemului rutier și asamblarea acestora în zona de amplasare;

c) realizarea de subansambluri, corelat cu modernizarea unor porțiuni din traseu, și asamblarea acestora în zona de amplasare sau pe amplasament.

Varianta „b" conduce la dificultăți deosebit de mari, practic la descentralizarea fabricației, astfel că poate fi eliminată.

Prin urmare, dintre variantele a) și c) ar trebui aleasă cea care ar corespunde în cea mai mare măsură. Deoarece acțiunile legate de reconstruirea căilor rutiere pentru a corespunde cerințelor de transport din varianta „a" ar conduce la durate relativ lungi de realizare, cu cheltuieli importante, apare oportună analiza variantei „c" ca variantă optimă.

1. Ansambluri și subansambluri ale pieselor grele și agabaritice

În tabelul 1 sînt prezentate principalele 7 echipamente cu dimensiunile și greutățile cele mai mari, care se montează în partea nucleară a centralei. Elementele din tabel sînt conform datelor pentru CNE Cernavodă.

În tabelul 2 sînt listate caracteristicile pentru piesele grele și agabaritice din tabelul 1, în alternativa livrării lor pe subansambluri. Tronsonarea a avut în vedere, pe de o parte, reducerea greutății pieselor de transportat sub 150 t, iar, pe de altă parte, reducerea gabaritelor, corelat cu un minim de operații de asamblare în zonă sau pe șantier.

* Ing. Traian Mauna — Institutul de Studii și Proiectări Energetice, București, ing. Dorin Chirica, ing. Sorin Ghiță — Institutul de Reactoare Nucleare Pitești.

Tabelul 1

Lista principalelor piese grele și agabaritice din partea nucleară CNE

Denumire echipament	Dimensiuni gabarit L×lxh [mm]	Greutate [t/buc.]	Observații
Ansamblul calandria	8500×9000×8600	263	ambalat pentru transport
Generator de abur	20000×4250×4100	207	fără suport transport
Cadru colectoare și fideri superiori	7250×7300×3300	45	cu tălpi de așezare profil I, fără lada de ambalaj
Presurizor	16200×3050×3115		
Ecluza de echipamente	12600×7500×7500	100	fără suport transport
Rezervor de apă sub presiune (3232-TK1 și TK3)		106	numai corpul fără ramă
	12650×4450×4900	114	fără suport transport
Rezervor aer (3432—TK2)	11450×4250×5000	107	fără suport transport

Tabelul 2

Lista principalelor piese grele și agabaritice din partea nucleară a CNE livrate pe subansambluri de la uzinele constructoare

Denumire echipament	Dimensiune gabarit L×l×h [mm]	Greutate [t/buc.]	Observații
Ansamblul calandria			
— protecție de capăt	8510×8600×2800	120	ambalată pentru transport
— vas calandria			
• în poziție orizontală	4300×7750×8700	42	ambalat pentru transport
• în poziție verticală	Ø7700×5000	40	ambalat pentru transport
Generator de abur			
— schimbător de căldură	13000×3350×3350	126	fără suport de transport
— dom	8000×4250×4100	83	fără suport de transport
Cadru colectoare și fideri	7240×5700×3300	25	
Presurizor			
— tronson I	9125×2920×3010	47	fără suport de transport
— tronson II	7070×2810×3115	40,5	fără suport de transport
Ecluza de echipamente			
— virole	Ø7060×10500	18,0	
— poartă și ușă de personal	4000×370×4200	10,2	
— ansamblu ramă	5010×560×5110	8,1	
Rezervor apă sub presiune TK1 și TK3			
— tronson I	5790×4450×4150	51	fără suport de transport
— tronson II	6860×4450×4900	63	fără suport de transport
Rezervor aer TK1			
— tronson I	5550×4250×4500	52,5	fără suport de transport
— tronson II	5900×4250×5000	54,5	fără suport de transport

Din evaluările anterioare a rezultat că o sarcină sub 150 t este corespunzătoare unei (sarcini pe osie sub 20 t.

În tabelele 3 și 4 sînt prezentate date tehnice legate de transportul echipamentelor respective în cele două alternative de transport ansambluri întregi, respectiv subansambluri).

Din analiza acestor date rezultă că :

— prin tronsonare, piesa cea mai grea rămîne schimbătorul de căldură al generatorului de abur cu o greutate de 126 t față de întreg ansamblul calandria de 263 t;

— sarcina maximă pe osie de 17,6 t este determinată de protecția de capăt a calan-

Tabelul 3

Caracteristicile de transport ale pieselor grele și agabaritice reprezentative din partea nucleară a CNE livrate în ansambluri complete

Denumire piesă	Tip trayler	Greutate totală [t]	Gabarit transport l×h [mm]	Sarcina pe osie [t]
Ansamblu calandria	Scheuerle 2×12 axe	400	8535×10510	33,33
Generator de abur	Scheuerle 14 axe	271	4210×5476	15,9
Cadru colectoare	RTE5	61	7300×4400	12,2
Ecluza de echipamente	Scheuerle 2×12 axe	230	7800×9353	19,2

Tabelul 4

Caracteristicile de transport ale pieselor grele și agabaritice reprezentative din partea nucleară a CNE livrate pe subansambluri

Denumire piesă	Tip trayler	Greutate totală [t]	Gabarit transport l×h [mm]	Sarcina pe osie
Ansamblu calandria				
— protecție de capăt	2RTE12	211	8510×4500	17,6
— vas calandria poziție orizontală	2RTE8	96	4300×10400	12,0
sau				
— vas calandria poziție verticală	2RTE8	96	7750×6700	12,0
Generator de abur				
— schimbător de căldură	RTE16	192	3350×5050	12,0
— dom	RTE12	135	4250×5600	11,2
Cadru colectoare și fideri	RTE5	41	5600×4400	8,2
Ecluza de echipamente				
— virole	2RTE8	64—77	7100×(4700×6900)	8,0—9,6

driei, față de 33,33 t de la transportul ansamblului calandria:

— înălțimea maximă de gabarit rezultată la transportul tronsonat este de 6900 mm, determinată de transportul ecluzei de echipamente, față de 10510 mm determinată de transportul ansamblului calandria;

— lățimea maximă de gabarit rezultă aproximativ aceeași în ambele alternative, 8510 mm pentru protecția de capăt a calandriei față de 8535 mm pentru ansamblul calandria întreg.

2. Implicații asupra fabricației și montajului

În ceea ce privește asamblarea în zonă a echipamentelor livrate ca subansambluri aceasta se poate face în imediata vecinătate a amplasamentului, la locul de montaj pe șantier sau în hale industriale existente în zonă. În oricare din aceste situații operațiile de asamblare trebuie executate conform cerințelor proiectului de echipament în condițiile de fabricație din uzina constructoare. Aceasta ar impune transferarea de la fabrică la noile spații de asamblare a mijloacelor necesare unor operații pretențioase și de precizie, cum ar fi:

— operații de aliniere, care sînt cu atît mai complicate cu cît echipamentul este executat din mai multe subansambluri:

— operații de ansamblare prin sudură, în conformitate cu tehnologiile de fabricație și cerințele din codurile de proiectare, execuție și testare;

— operații de control al sudurilor cu metode, mijloace, aparatură specifică;

— operații de tratamente termice etc.;

— operații de mandrinări speciale (la asamblarea tuburilor calandriei);

— probe de etanșeitate, de presiune, controale, verificări etc.

În raport cu cantitatea și calitatea operațiilor necesare a se realiza în zona amplasamentului pentru asamblarea echipamentelor livrate ca subansambluri este necesar să se realizeze spații special amenajate, nou construite sau existente, dotate cu:

— mijloace și dispozitive de manipulare a subansamblurilor (poduri rulante mici sau mijlocii, căi de rulare, boghiuri, cricuri, automacarale de mare tonaj etc.);

— dispozitive de aliniere;

— aparatura de sudură automată;

— instalații pentru tratamente termice;

— aparatură de testare și control;

— instalații de menținere a cerințelor de curățenie și temperatură constantă în interiorul halelor.

Concluzii

Oportunitatea transportului principalelor piese grele și agabaritice din partea nucleară sub formă de subansambluri trebuie să facă obiectul unei analize tehnico-economice la care să fie luate în considerare următoarele aspecte principale:

— costul amenajării căilor de transport în alternativa transportului în ansambluri întregi față de alternativa transportului în subansambluri;

— durata amenajării căilor de transport în cele două alternative și corelarea acestora cu termenele de livrare conform graficului de realizare a CNE:

— costul și duratele de realizare a amenajărilor în zonă pentru asamblarea în vecinătatea amplasamentului a echipamentelor livrate în subansambluri și influența acestor amenajări și operații suplimentare asupra costului echipamentelor;

— asigurarea forței de muncă calificate corespunzător operațiilor specifice asamblării nucleare în zona amplasamentului (cu luarea în considerație a problemelor sociale).

Soluția de tronsonare poate fi optimizată, ținînd seama de cele mai dificile operații de fabricare, printr-o analiză secvențională a implicațiilor, fapt ce ar elimina atît exagerările în cerințele de fabricație, cît și reversul acesteia, tronsonarea.

La analiza transportului pe subansambluri mai intră în competiție, din partea clasică a centralei, statorul generatorului electric, ale cărui dimensiuni maxime 10800 × 4000 × 4200 și greutate de circa 300 t sînt comparabile cu ale echipamentelor nucleare.

Este foarte probabilă că o formulă optimă nu va putea fi stabilit decît după ce se va căpăta suficientă experiență și vor fi pătrunse secretele complexului proces de fabricare a echipamentelor pentru CNE Cernavodă.

(Primit la 24 februare 1988, acceptat la 8 aprilie 1988)

NOUTĂȚI

Din energetica mondială

ENERGIA ELECTRICĂ — FORMA DE BAZĂ A ENERGIEI VIITORULUI

În revista „*Bull-Schweiz. electrotechn. Ver.*" 1987, 78, nr. 20, P. F. Heidinger publică un articol în care arată că una din cele mai mari realizări ale omenirii o constituie prezența energiei electrice în viața oamenilor. Avantajele acesteia față de toate celelalte forme de energie sînt indiscutabile și, în viitorul previzibil, aceasta va rămîne forma principală. Opiniile privind riscul legat de producerea energiei electrice în CNE sînt total nefundamentate.

În prezent omenirea consumă anual o cantitate totală de energie de 10 miliarde t c.c. ($290 \cdot 10^6$ TJ) din care 2,5 miliarde t c.c. ($72{,}5 \cdot 10^6$ TJ) pentru producerea energiei electrice; în prezent, ponderea diverșilor purtători de energie primară pentru producerea energiei electrice este următoarea:

— energia hidroelectrică	23%
— țiței și gaze naturale	23%
— cărbune	37%
— CNE	17%

În numeroase țări resursele hidroenergetice sînt utilizate integral, iar resursele primare fosile sînt limitate. Progresul tehnic nu-și poate schimba sensul, motiv pentru care este inevitabilă creșterea continuă a puterilor în CNE. Posibilitățile utilizării altor surse de energie (solară, maree, biomasă, geotermală etc.) sînt extrem de limitate și acestea pot fi considerate numai ca energii de completare și în nici un caz ca o alternativă. Problema viitorului o constituie energia sintezei nucleare. Din tot ceea ce descrie autorul rezultă că energia nucleară nu este un scop în sine, ci o punte care duce spre viitorul societății umane.

(După: Referativnîi jurnal, 22 Energhetika, vol. general, nr. 2/1988, poz. 2 J 1)

RAPORT STATISTIC PRIVIND ELECTROENERGETICA S.U.A. ÎN 1987

În S.U.A. funcționează 3045 centrale electrice, cu o putere instalată totală, la data de 1.04.1987, de 709,1 GW, cu 3% mai mare față de 1986.

În 1986 a fost dată în exploatare o putere de 20,7 GW, din care 13,0 GW la CNE și 3,6 GW la CTE.

Numărul de ore de utilizare a puterii nominale a fost de 3740 pentru CTE și de 4450 la CNE.

Investiția specifică a fost de 904 dolari/kWi, din care la CNE de 985 dolari/kWi. Valoarea totală a investițiilor a fost de 30,2 miliarde dolari. Investițiile în rețelele electrice au constituit 31,2% din investițiile totale în electroenergetică. Din acestea, 20% s-au cheltuit pentru stații electrice, restul fiind alocate construcțiilor de LEA și LEC. Pentru anul 1987 se prevede darea în exploatare a unor puteri totalizînd 21 GW.

(După: Referativnîi jurnal, 22 Energhetika, vol. general, nr. 1/1988, poz. 1 J15)

ECONOMIA DE ENERGIE ÎN R.D.G. PRIN UTILIZAREA RESURSELOR SECUNDARE

În R.D.G., creșterea produsului național brut (PNB), a consumului de energie, E, și economia de energie (Ec) se prezintă prin următoarele cifre:

Perioada	PNB (%)	E (%)	Ec în mil. tone echiv. cărbune brun
1971—1975	5,4	1,6	28
1976—1980	4,1	1,8	30
1981—1985	4,5	0,8	82
1986—1990 (prognoză)	4,8—5,2	1,0	80

Scăderea consumului specific de energie și economia de energie se realizează datorită utilizării resurselor secundare, introducerii proceselor cu consumuri energetice reduse și a unor tehnologii și măsuri economice energetice.

Utilizarea resurselor secundare a crescut de la 5 mil. tone în 1980 la 30 mil. tone în 1985. În perioada respectivă, la construcția de drumuri s-a utilizat 1 mil. tone zgură de furnal, pentru înlocuirea cimentului s-a utilizat 30% din cenușa cărbunilor consumați în centralele electrice, pentru topirea oțelului s-a utilizat 70% fier vechi, la topirea zincului — 90% metal extras din zgură de zinc, din deșeuri și materie primă secundară.

Economia de energie pe seama utilizării materiilor prime secundare a fost în producția de oțel de 50%, în industria aluminiului — de 75%, la topirea cuprului — de 90%. Se planifică pentru perioada 1986—1990 ca 14—16% din totalul materiilor prime ale industriei să fie obținute pe seama utilizării resurselor secundare.

(După: „Referativnîi jurnal 22 Energhetika, vol. general nr. 1/1988 poz. 1T154)

Concepția simplificat—integrată a unui aerogenerator de mică putere

Ing. GHEORGHE VOICU, ing. MIHAI LAURIC, ing. MAURICIU TUDOR, ing. CRISTIAN ȚÂNȚĂREANU *

Descriptori: aerogeneratoare

Echipamentul descris este un aerogenerator de 55 kW cu rotor tripal de 15,7 m diametru, destinat debitării energiei electrice în sistem.

Concepția lui îl situează la nivelul produselor similare din străinătate fiind însă realizabil integral cu componente indigene. Indicatorii tehnico-economici sînt deosebit de favorabili.

The equipment described is a 55 kW three-blade rotor with a 15.7 m diameter meant to feed the electricity into the grid.

By its conception the product is ranked with similar product manufactured abroad but it can be built with only indigenous components. Its technical-economic parameters are most favourable.

Compact Conception of a Low-Power Wind Unit

(Abstract of the Romanian Paper)

1. Prerequisites

The ICEMENERG-made computations (1984) have proven that, for the specific conditions of Romania, wind unit optimum technical and economical parameters are in the range of 500—600 kW unitary capacity for the mountainous zone, and of 250—300 kW for the coastal zone. At present, however, as the world background also points out (Fig. 1), it is feasible to develop low power wind units for wind farm endowment. It is the complexity and the solving duration of the set up technical issues which is thus reduced, a useful experience being also devised with respect to medium power wind farm operation.

Such a low power wind unit has already been designed by ICEMENERG.

2. Description of the unit

The unit is a horizontal-axis wind generator with a three-bladed, upstream, active yaw rotor meant for feeding electric energy into the national grid (Fig. 2).

The power level has been selected function of the wind characteristic in the envisaged site (medium wind speed: 5—5.5 m/s) and of the span of the blades produced by the manufacturing enterprises with employment of common technologies. A rotor diameter of 15.7 m has resulted, ensuring a 80 kW power at the turbine shaft and a 55 kW power at the generator terminals.

Blade aerodynamics involves power stall regulation at the rated power level. The blade is made of glass-reinforced polyesther. The blade axis and fixing flange is made of steel (Fig. 2, Fig. 3).

For reaching a 12—15% increase of the delivered energy, the facility is to be fitted with two induction generators of different capacities and speeds (Fig. 3, Table 1).

The gearbox is a compact construction. Its case represents the truss structure of all the shafting components, its main shaft also being the hub axis. The gearbox base also performs the role of nacelle platform. The structural alternatives imply weight reduction as to the conventional (independent components) equivalent variant.

The gearbox is provided with two outlets correspondings to the two generators.

On the nacelle platform there are also located small cabinets containing connection and automation components.

The tower, which is a closed cylindrical construction, disposes of 3 diameter steps and is hinged at its lower end, which enables tilting of the whole tower-nacelle structure. This construction no longer implies utilisation of expensive assemblage equipment (such as specialised autocranes).

3. Presumed technico-economical parameters

a) In case of the pilot unit

The resulting cost of the pilot wind unit is of 835,000 lei its synthetic parameters being as follows:

— 15,182 lei/kW;

— 216.4 kg/kW;

— 702.2 lei/kg of equipment.

The cost of the pilot manufacturing, assemblage and commissioning on an adequate site in Dobrogea (the filly area in the South-East of Romania) is assessed at 1.55 million lei.

b) For a wind farm with 10 units

In case of the Dobrogea site, which disposes of available conditions for installation of a great number of such units, the computed electric energy production is of 135,000 kWh/year. Considering a production unavailability of 15%, the resulting yearly net production will be of 115,000 kWh/unit.

The serial product cost is assessed at 750,000 lei, i.e. a 13.7% reduction as to the pilot alternative.

The total investment for a 10 unit wind farm is of 13.6 million lei.

The resulting sythetic parameters are as follows:

— total installed capacity . . . . . 550 kW;
— yearly generated energy . . . . . 1,150,000 kWh;
— specific investment . . . . . 24,727 lei/kW;
— the cost price of the supplied electric energy 1.00 lei/kWh.

Conclusions

The 55 kW wind unit designed by ICEMENERG attains particularly advantageous technico-economical parameters, close to those of the future 300 and 1 000 kW wind units envisaged by the Romanian wind energy programme.

The expenses for the whole research-design-manufacturing-homologation cycle are expected not to exceed 3 million lei. The pilot homologation is to be made 12 months after starting the equipment manufacturing.

* Ing. Gheorghe Voicu, ing. Mihai Lauric, ing. Mauriciu Tudor, ing. Cristian Țânțăreanu — Institutul de Cercetări și Modernizări Energetice București.

1. Premise

Toate studiile teoretice efectuate în diferite ţări ale lumii, indiferent de epoca şi nivelul tehnologiilor existente în acel moment, au demonstrat scăderea costurilor pe măsura creşterii puterii nominale a turbinelor de vînt, existînd un minim al investiţiei specifice. În această zonă de optim indicatorii pot ajunge competitivi cu sursele de referinţă, care, în general, sînt cele clasice (grupuri diesel sau microhidrocentrale de putere echivalentă).

Şi la noi în ţară calculele efectuate de ICEMENERG, ţinînd seama de indicatorii acceptaţi de legislaţia pentru investiţii energetice în surse noi şi luînd în considerare echipamente eoliene de tip *clasic* cu componente independente (adică în conceptul deceniului trecut), demonstrau, în 1984, că indicatorii devin acceptabili la aerogeneratoare cu o putere minimă de 200 kW în zona de munte şi de 250—300 kW în zona litoralului, în timp ce optimul (deci indicatorii minimi) se realizează la 500—600 kW în prima zonă şi 1000 kW în zona litoralului.

Între timp, pe plan mondial s-au pus în funcţiune peste 1500 MW în echipamente eoliene, nivelul mediu unitar de putere al grupurilor depăşind azi cu puţin 110 kW. Spre exemplu în California-S.U.A., care deţine circa 95% din totalul instalărilor în lume, nivelul de putere nominală al aerogeneratoarelor (peste 14 000 bucăţi) variază de la 18 la 400 kW, (fig. 1), în timp ce puterea medie în întreaga arie a crescut de la 52 kW, în 1981, la 85 kW în 1986. O situaţie similară se întîlneşte şi în Danemarca.

Faptul că se utilizează pe o scară atît de largă grupuri de putere mică şi medie are mai multe explicaţii, una din acestea fiind specifică pieţei capitaliste: facilităţile financiare asigurate de guverne au atras numeroşi investitori, garantîndu-se şi desfacerea producţiei la companiile de electricitate din zonele amenajate. Aceasta a condus şi la producătorii de echipamente la o dezvoltare rapidă a fabricaţiei de aerogeneratoare, pentru care există o serioasă piaţă de desfacere, cifra de afaceri depăşind în ultimii 5 ani valoarea de 2 miliarde dolari S.U.A.

Sub aspect tehnic, cum punerea la punct a unor grupuri de puteri mari necesită cercetări îndelungi şi cheltuieli importante, producătorii s-au orientat spre perfecţionarea soluţiilor, spre puteri medii şi mici, astfel încît aceste echipamente să devină ele însele competitive, permiţînd în acelaşi timp un montaj mult mai operativ. Au fost perfecţionate în primul rînd metodele de calcul, ajungîndu-se la eliminarea unor supradimensionări ce se datorau în trecut necunoaşterii exacte a unor fenomene. În evoluţia proiectării s-au schimbat şi unele concepte asupra funcţiilor unui aerogenerator, acestea conducînd la importante simplificări în partea de reglaj-automatizare.

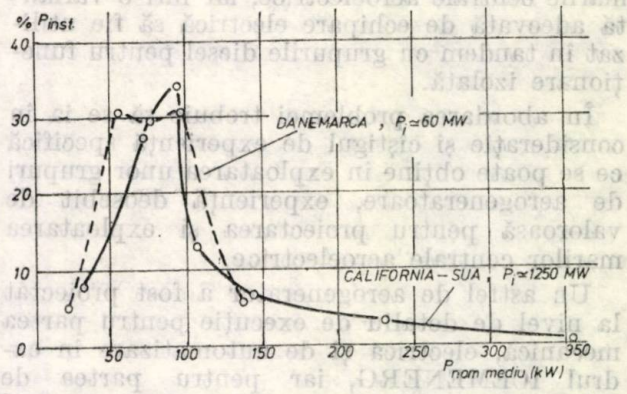


Fig. 1. Ponderea puterilor nominale ale turbinelor de vînt instalate în California—SUA (circa 14600 turbine) şi în Danemarca (circa 1000 turbine). Situaţia din martie 1987. Prelucrarea statistică aparţine autorilor.

Dar cele mai spectaculoase rezultate au fost obţinute cînd s-au adus îmbunătăţiri în tehnologia de conversie: dacă pînă la începutul anilor '80 reglajul principal al puterii captate de turbina de vînt se realiza prin varierea unghiului de incidenţă al palelor în raport cu vectorul vînt, concepţia a evoluat rapid spre o soluţie cu pală parţial reglabilă (flapsuri pe circa 1/3 din lungimea lor), pentru ca numai în cîţiva ani să se pună la punct o soluţie cu pală autoreglantă, care foloseşte flapsurile numai ca frînă aerodinamică în caz de avarie. Ultima variantă, cu pală cu profil elastic, autoprotectoare, este încă un deziderat.

Această evoluţie nu a fost legată de utilizarea unor materiale noi în acest domeniu, poliesterii armaţi cu fibră de sticlă fiind practic consacraţi şi în realizarea palelor de turbine eoliene.

Ţinînd cont de stadiul real al realizării turbinelor de medie şi mare putere la noi în ţară, de necesitatea unui import de completare şi avînd în vedere că un nivel mai mic de putere reduce complexitatea şi durata rezolvării, iar dacă se pot prelua în ţară unele concepte

tehnologice de vîrf pe plan mondial se simplifică și se ieftinește produsul la nivelul de costuri al grupurilor mari, specialiștii ICEMENERG consideră că în actuala etapă este oportun să se promoveze execuția unui aerogenerator simplificat-integrat de mică putere pentru echiparea centralelor aeroelectrice, aerogeneratorul putînd fi utilizat și de sine stătător, în afara amplasamentelor favorabile pentru marile centrale aeroelectrice, iar într-o variantă adecvată de echipare electrică să fie utilizat în tandem cu grupurile diesel pentru funcționare izolată.

În abordarea problemei trebuie să se ia în considerație și cîștigul de experiență specifică ce se poate obține în exploatarea unor grupuri de aerogeneratoare, experiență deosebit de valoroasă pentru proiectarea și exploatarea marilor centrale aeroelectrice.

Un astfel de aerogenerator a fost proiectat la nivel de detaliu de execuție pentru partea mecanică, electrică și de automatizare în cadrul ICEMENERG, iar pentru partea de aerodinamică și tehnologie a palei în cadrul Institutului Politehnic București-Facultatea de Aeronave.

2. Descrierea echipamentului

Echipamentul este un aerogenerator cu ax orizontal, cu rotor tripal, amonte, cu orientare activă în vînt, destinat debitării energiei electrice în sistemul energetic național (fig. 2).

Concepția lui îl situează la nivelul tehnologic de vîrf atins azi pe plan mondial, realizabil integral cu componente indigene, satisfăcînd exigențele tehnico-economice ale promovării lui în condițiile concrete ale R.S.R.

Nivelul de putere s-a ales funcție de caracteristica vîntului în amplasamentele vizate (viteza medie 5—5,5 m/s) și de anvergura maximă posibilă a palelor, realizabile de industrie cu tehnologiile curente și fără a necesita o pregătire de fabricație specială. A rezultat un diametru rotoric de 15,7 m ($l_{pală} = 7{,}85$ m), care dă o putere la arborele turbinei de circa 80 kW, respectiv o putere la bornele generatorului de 55 kW.

Aerodinamica palei realizează autolimitarea puterii la nivelul puterii nominale. Această soluție, adoptată și pe plan mondial abia de cîțiva ani, simplifică substanțial schema de automatizare și crește fiabilitatea instalației. Caracteristicile de vînt calculate pentru rotor sînt: demaraj la 3,8 m/s, atingerea puterii nominale la 12,5 m/s, viteza maximă de funcționare de 28 m/s (limitată la această valoare din considerente energetice și constructive), viteza maximă de supraviețuire în regim static (adică cu probabilitatea de producere o dată la 100 ani) de 56 m/s.

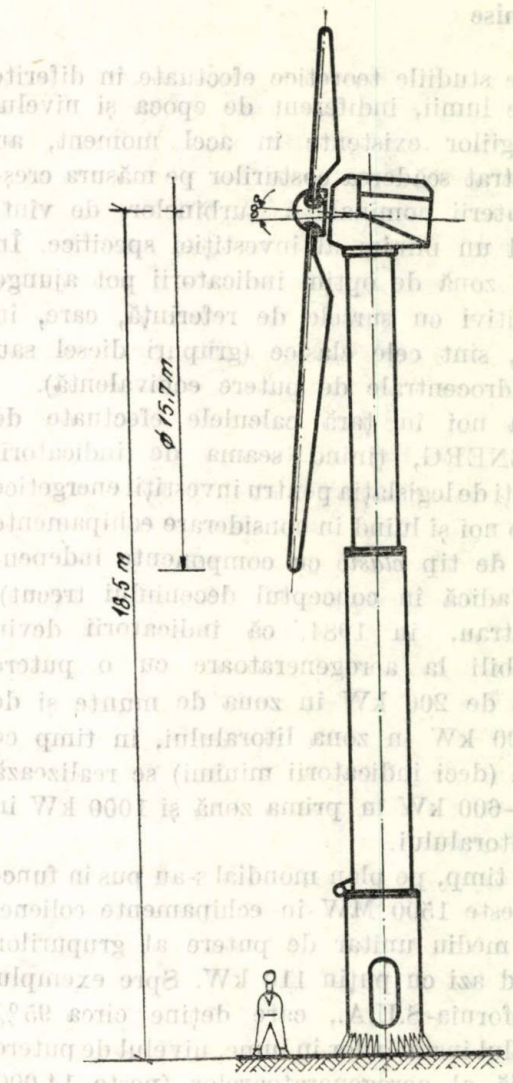


Fig. 2. Vedere de ansamblu a aerogeneratorului simplificat integrat de 55 kW.

Construcția palei se realizează din poliester armat cu fibră de sticlă (componente indigene), formată manual pe mulaj negativ (realizat la rîndul său pe un calapod special construit), similar palei de ventilator tip VT 125 ($l = 5{,}55$ m) aflată de mai mulți ani în producția de serie la I.P.A.U.S. — București (pendinte de MICh-CUPSIC). Axul și flanșa de prindere a palei se confecționează din oțel.

Pentru creșterea cantității de energie livrată cu 12—15%, instalația va fi dotată cu două generatoare electrice — de puteri și turații diferite — care să funcționeze optim în zone diferite ale caracteristicii putere-vînt și anume un generator de 11 kW (ce va funcționa la vînturi slabe și într-un domeniu mai scăzut de turații rotorice) și altul de 55 kW, care va funcționa la puteri peste 11 kW și la turații rotorice ridicate (fig. 3).

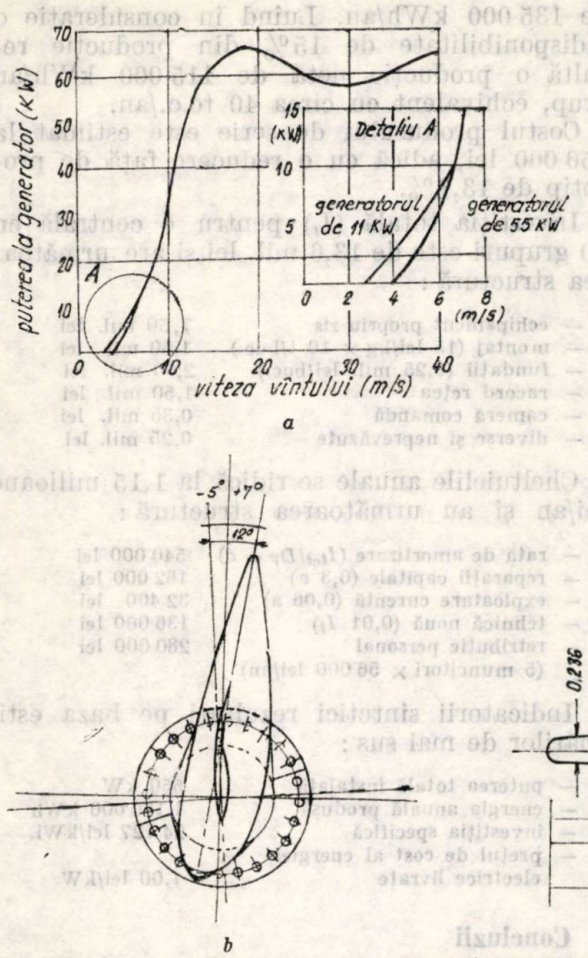


Fig. 3. Geometria palei şi caracteristica putere—vînt aerogeneratorului a simplificat integrat de 55 kW

Multiplicatorul este conceput în construcţie integrată, carcasa acestuia constituind structura de rezistenţă pentru întregul lanţ cinematic, iar arborele principal constituie totodată şi axul butucului. De asemenea, talpa multiplicatorului este şi platforma nacelei. Aceste soluţii constructive reduc cu 30—40% greutăţile faţă de varianta soluţiei clasice echivalente cu componente independente.

Multiplicatorul este prevăzut cu două ieşiri, corespunzătoare celor două generatoare.

Mecanismul de orientare în vînt al nacelei este compus dintr-un rulment axial-radial cu bile (din fabricaţia de serie), a cărui coroană dinţată este angrenată de un pinion acţionat de un motoreductor cilindromelcat (produs de serie).

Pe platforma nacelei mai sînt amplasate în mici dulapuri şi unele elemente de conexiune şi automatizare. Acoperirea nacelei se face printr-o carenă uşoară din poliester armat cu fibră de sticlă, ce va proteja întreg echipamentul.

Tabelul 1

Caracteristicile tehnice ale aerogeneratorului a simplificat—integrat de 55 kW.

- Puterea nominală: 55 kW
- Rotor:
  - tip: fix
  - diametru rotoric: 15,7 m
  - număr pale: 3
  - poziţie rotor: amonte
  - construcţie: poliester armat fibră
  - reglaj putere: autoreglantă prin concepţia aerodinamică
- Viteze caracteristice ale vîntului:
  - de demaraj: 3,8 m/s
  - nominală: 12,5 m/s
  - maximă de funcţionare: 28 m/s
  - de supravieţuire: 56 m/s
- Generatoare electrice:
  - principal: tip asincron 55 kW—1500 rot/min
  - auxiliar: tip asincron 11 kW—1000 rot/min
- Nacela: construcţie integrată cu sistem activ de orientare
- Stîlp: tubular din 3 secţiuni, 1,6/1,3/1,0 m; H = 18 m
- Automatizare: completă cu module SRA
- Durata de viaţă: 25 ani
- Greutăţi:

— rotorul (inclusiv palele):	1830 kg
— nacela echipată:	3390 kg
— mecanism orientare:	270 kg
— stîlp:	6290 kg
— alte echipări:	130 kg
— total	11900 kg

Avînd în vedere că aerogeneratorul este destinat debitării energiei în reţea, maşinile electrice sînt de cel mai simplu tip, şi anume asincrone cu rotor în scurtcircuit, din fabricaţia de serie (tabelul 1).

Schema electrică este completată cu panourile electrice uzuale, motoarele de acţionare auxiliare (produse de serie cu puteri 0,55—1kW), balizaj, protecţia la descărcări atmosferice.

Schema de automatizare, realizabilă cu module tipizate, va asigura orientarea activă a agregatului, pornirea și oprirea automată, comutarea funcționării celor două generatoare electrice, frînarea de avarie și altele.

Stîlpul de susținere, în construcție cilindrică închisă — din țevi standardizate — are trei trepte de diametre, fiind articulat în partea inferioară, permițînd bascularea întregului ansamblu stîlp-nacelă. Aceasta elimină necesitatea folosirii pentru montaj a unor echipamente costisitoare (de tipul automacaralelor specializate) și a execuției unor amenajări locale (drum, platforme, fundații auxiliare), permițînd utilizarea unor dispozitive simple și bascularea cu tractoare pe șenile.

3. Indicatori tehnico-economici prezumați

Pentru grupul prototip

Calculul costului prezumat al execuției prototipului a pornit de la greutățile pe componente, conform proiectului de execuție, și indicatorii de cost uzual folosiți în industria constructoare de mașini funcție de gradul de prelucrare (de la 150 lei/kg pentru arbori, roți dințate etc. pînă la 40 lei/kg pentru diferite confecții metalice). Pentru componentele în fabricație de serie (rulmenți, motoare electrice, și altele) s-au luat în considerație prețurile de livrare.

A rezultat că aerogeneratorul prototip va costa 835 000 lei cu următorii indicatori sintetici:

— 15 182 lei/kW;
— 216,4 kg/kW;
— 70,2 lei/kg echipament.

Comparînd acești indicatori cu cei ai echipamentelor similare din țară executate sau în cercetare se observă că aerogeneratorul simplificat integrat de 55 kW este cel mai eficient echipament de putere mijlocie conceput pînă în prezent în țară. De altfel, și comparația cu cîteva aerogeneratoare similare din Danemarca, Olanda și Marea Britanie, arată că toți parametrii și indicatorii sînt la nivel mondial.

Costul concepției, montării și punerii în funcțiune a pilotului într-un amplasament corespunzător din Dobrogea este evaluat la 1,55 milioane lei.

Cheltuielile necesare în continuare pentru cercetare-proiectare și experimentări — omologare sînt evaluate la circa un milion lei.

Pentru o centrală aeroelectrică echipată cu 10 grupuri de acest tip

Producția de energie electrică, calculată pentru zona dealurilor Tulcei (unde se poate instala un număr important de astfel de grupuri) este de 135 000 kWh/an. Luînd în considerație o indisponibilitate de 15% din producție rezultă o producție netă de 115 000 kWh/an grup, echivalent cu circa 40 tc.c./an.

Costul produsului de serie este estimat la 750 000 lei, adică cu o reducere față de prototip de 13,7%.

Investiția totală (I_t) pentru o centrală cu 10 grupuri este de 13,6 mil. lei și are următoarea structură:

— echipament propriu-zis	7,50 mil. lei
— montaj (15 lei/kg × 10 t/buc.)	1,50 mil. lei
— fundații (0,25 mil. lei/buc.)	2,50 mil. lei
— racord rețea	1,50 mil. lei
— cameră comandă	0,35 mil. lei
— diverse și neprevăzute	0,25 mil. lei

Cheltuielile anuale se ridică la 1,15 milioane lei/an și au următoarea structură:

— rată de amortizare ($I_{tot}/D_T = a$)	540 000 lei
— reparații capitale (0,3 a)	162 000 lei
— exploatare curentă (0,06 a)	32 400 lei
— tehnică nouă (0,01 I_t)	136 000 lei
— retribuție personal (5 muncitori × 56 000 lei/an)	280 000 lei

Indicatorii sintetici rezultați pe baza estimărilor de mai sus:

— puterea totală instalată	550 kW
— energia anuală produsă	1 150 000 kWh
— investiția specifică	24 727 lei/kWi
— prețul de cost al energiei electrice livrate	1,00 lei/kW

Concluzii

Aerogeneratorul simplificat-integrat de 55 kW proiectat în cadrul ICEMENERG, realizează indicatori tehnico-economici deosebit de favorabili, comparabili cu cei ai viitoarelor grupuri de 300 și 1 000 kW.

Rezolvările tehnice sînt la nivelul produselor similare din străinătate. Execuția se poate asigura integral în țară, fără a necesita dezvoltări în industria constructoare de mașini.

Cheltuielile pentru întreg ciclul de cercetare-proiectare-execuție prototip-omologare nu vor depăși 3 milioane lei. Omologarea prototipului se poate face în 12 luni de la lansarea în execuție a echipamentului.

Aceste aprecieri îndeamnă la găsirea modalităților de promovare a execuției prototipului, care poate oferi o soluție utilă în dezvoltarea energeticii vîntului la noi în țară.

Bibliografie

[1] * * * *Notă de fundamentare tehnico-economică pentru promovarea tehnologiei și produsului „Aerogenerator simplificat-integrat cu putere de 55 kW"*-studii ICEMENERG, ianuarie 1988.

[2] * * * *Studii de aerodinamică pală pentru generatoare eoliene*. Institutul Politehnic București-Facultatea Aeronave, octombrie 1987.

(Primit 5 mai 1988, acceptat la 1 august 1988)

NOUTĂȚI

Din energetica mondială

SITUAȚIA ACTUALĂ ȘI PERSPECTIVELE APROVIZIONĂRII CU CĂRBUNE ÎN ȚĂRILE CAPITALISTE DEZVOLTATE

În revista *Energiewirtschaft Tagesfragen* 37/1987 nr. 10 (R.F.G.) Vogler Oskar semnează un articol în care arată că în țările Agenției Internaționale Energetice (AIE) consumul de cărbune în 1985 a fost de 892 mil. tep, iar ponderea acestuia în balanța energetică a acestor țări de 25%. În 1973 consumul era de 686 mil. tep, ponderea — 20%.

Creșterea cererii de cărbune a avut loc în special prin mărirea consumului centralelor termoelectrice și se explică prin conjunctura la prețurile internaționale la cărbune, caracterizată prin creșteri pînă în 1982 și prin scăderi apreciabile începînd din 1983. Astfel, prețurile la cocs și la cărbunele energetic, în $/tep, au fost următoarele:

Anul	Cocs	Cărbune
1978	61,18	46,74
1982	74,77	62,45
1983	67,75	52,66
1986	56,16	46,24

După avaria de la CNE Cernobîl o serie de țări Vest-europene, printre care și Olanda, și-au revizuit programele lor pentru CNE, iar Suedia a declarat că în jurul anului 2010 va renunța în totalitate la producerea energiei electrice în CNE. În aceste condiții este de așteptat ca rolul cărbunelui în producerea energiei electrice să crească în mod brusc. După ultimele prognoze, consumul de cărbune în țările AIE va crește cu 40% pînă în anul 2000, cînd ponderea acestuia în balanța energetică va fi de 28%. Extracția de cărbune în aceste țări în acel an, va crește cu cel puțin 38%.

(După: Referativnîi jurnal, 22, Energhetika, vol. general, nr. 2/1988 poz. 2 T 92)

PERSPECTIVELE ALIMENTĂRII CU ȚIȚEI ÎN LUME

La cel de-al 12-lea Congres Mondial al Petrolului (Huston, aprilie — mai 1987) s-au prezentat referate în care s-a sintetizat situația actuală și perspectivele industriei petroliere în lume. Creșterea prețurilor la țiței de patru ori în 1973 a condus, în ultimă instanță, la reducerea creșterii cererii de resurse energetice, în medie cu 3% pe an, iar la țițeiul brut cu 2%.

Astfel, o prognoză din 1975 prevedea pentru 1985 un consum mondial de țiței de 5300 mil tc.c. (155,3 EJ) consumul real în 1985 fiind de 2809 mil. tc.c. (82,3 EJ) la un consum total de resurse energetice de 7414 mil. tc.c. (217,1 EJ).

A avut loc, de asemenea, activizarea lucrărilor de cercetare a unor noi zăcăminte de petrol în țările din afara OPEC. În 1986 prețurile la țițeiul pe piața mondială au scăzut de trei ori. La Congres s-a exprimat opinia că, în scopul stabilizării alimentării mondiale cu țiței, este necesar să se adopte prețuri stabile la petrol, care să permită acoperirea cheltuielilor de extracție și să asigure totodată beneficiul necesar companiilor petroliere.

(După: Referativnîi jurnal, 22, Energhetika, vol. general, nr. 2/1988, poz. 2 T 94 și 2 T 93)

CONȚINUTUL DE ELEMENTE RADIOACTIVE NATURALE ÎN LIGNIT ȘI ÎN CENUȘA ACESTUIA, REZULTATĂ DIN ARDEREA LIGNIȚILOR, LA CENTRALELE TERMOELECTRICE DIN GRECIA

CTE funcționînd pe lignit asigură circa 65% din producția de energie electrică a Greciei. La minele de lignit PTOLEMAIS funcționează trei CTE cu o putere totală de 3020 MW, iar în bazinul MEGALOPOLIS — care dă un lignit avînd 57% apă și 16—18% conținut de cenușă — funcționează două blocuri de 125 MW și un bloc de 300 MW, fiind în construcție încă un bloc de aceeași putere.

În urma măsurătorilor făcute s-au obținut date statistice privind conținutul elementelor radioactive ^{226}Ra ^{228}Ra și ^{40}K în lignitul livrat la CTE Megalopolis și în cenușa rezultată din arderea acestuia. S-au făcut de asemenea calcule privind emanațiile acestor elemente în atmosferă. S-a stabilit, printre altele, că, în mod practic, elementul ^{226}Ra conținut în lignit trece în întregime în cenușă.

Din comparația cu date din publicațiile internaționale, inclusiv ale ONU, s-a tras concluzia că nivelul emanațiilor de elemente radioactive la arderea ligniților din bazinele Greciei este în mod substanțial mai mare decît nivelul mediu mondial.

(După: Referativnîi jurnal, 22, Energhetika, vol. general, nr. 2/1988, poz. 2 R 21)

UTILIZAREA CRITERIULUI SECURITĂȚII NUCLEARE ÎN INDUSTRIA CHIMICĂ A FRANȚEI

În publicația *Arts et mètiers*, 1987, nr. 4, se analizează activitatea de control asupra exploatării în condiții de securitate a obiectivelor industriei chimice în Franța. Ca bază, s-au luat criteriile de control elaborate de CEA pentru obiectivele energetice nucleare care conțin, încă din 1963, prevederea obligativității de obținere a licenței care din 1973 este acordată de Ministerul pentru Problemele Mediului Ambiant. După avaria de la combinatul chimic italian de la Seveso, în 1976, prin sistemul de licențe sînt supuse controlului obligatoriu toate uzinele chimice care în caz de avarie pot produce daune în mediul ambiant și populației.

Cele mai periculoase sînt considerate acele procese de producție în care se utilizează amoniac, clor, fosgen, oxid de etilenă, arsenic. În prezent se află sub controlul guvernului francez 50 000 astfel de instalații.

(După: Referativnîi jurnal, 23, Energhetika, vol. general nr. 1/1988, poz. 1U 449)

NOUTĂȚI ÎN DOMENIUL ENERGETIC LA EXPOZIȚIA REALIZĂRILOR ECONOMIEI NAȚIONALE A U.R.S.S. — MOSCOVA — 1988

La ediția din 1988 a expoziției cu tema *Economia de resurse — 1988* se prezintă, printre alte soluții și exponate, următoarele:

- sistem de control al consumului de energie electrică, care funcționează la Kiev, cuprinzînd 60 întreprinderi, cu ajutorul căruia se asigură alimentarea optimă, limitarea creșterii cererii, stimularea formelor și metodelor de economie a energiei;
- instalație abur-gaz de 250 MW, utilizată la CET-5 din orașul Kirov, care permite reducerea consumului de combustibil cu 10%, a emanațiilor oxizilor de azot la jumătate, a cenușii — de 5 ori, comparativ cu un grup energetic cu abur;
- instalație de recuperare a căldurii din gazele de ardere, cu o economie de 2000 tc.c./an;
- noi metode de ardere a cărbunelui inferior, printre care cele în strat fluidizat;
- instalație eoliană de 1000 kW;
- elemente de izolație din beton electroizolant utilizate la LEA (stîlpi) împreună cu armături din materiale plastice sticloase, care simplifică construcția stîlpilor LEA cu 20—50%, reduce consumul de metal cu 10—30%, reduce volumul de investiții și de muncă. La 1000 km de LEA 110 kV se economisesc:

— 120 t oţel beton;
— 230 t laminate din oţel;
— 750 t conductoare de oţel;
— 240 mii ruble;

— elemente de construcţii metalice, protejate împotriva coroziunii printr-un strat de aluminiu, aplicat la cald, a căror durată de viaţă este de 60 ani, adică de 2—4 ori mai lungă decît în cazul zincării;
— conducta termică cu înveliş termic izolat pe bază de uretani, avînd o durată de viaţă de 30 ani (de două ori mai mare decît în prezent), cu cheltuielile la montaj de 3,5 ori mai mici, pierderile de căldură scăzînd cu 35—50%;
— conducta termică cu izolaţie din beton polimerizat, cu o durată de 30 ani, reducere de pierderi cu 30%, micşorarea consumului de oţel beton cu 80% pe seama amplasării fără canale;
— complexul energobiologic de la CTE Irkutsk-10, care constă dintr-o secţie de producţie piscicolă şi din sere în care s-au produs în 1987 cîte 37 kg de legume pe cap de lucrător al centralei electrice;
— un mare număr de cărţi, manuale, cu participarea a 13 edituri.

MODUL DE MODERNIZARE ÎN U.R.S.S. A ECHIPAMENTELOR CENTRALELOR ELECTRICE CU DURATE DE VIAŢĂ DEPĂŞITE

În 1986—1990 în U.R.S.S. se prevede reutilarea unei puteri de 22 600 MW în centralele termoelectrice, în scopul prelungirii duratei lor de funcţionare, prin înlocuirea principalelor elemente şi piese ale turbinelor, cazanelor, conductelor, pompelor şi aparatajului electric care au depăşit resursa lor de timp (durata de viaţă normată).

În primii doi ani ai cincinalului s-au reconstruit turbine cu o putere totală de 5260 MW faţă de un plan de 7000 MW, reconstrucţia fiind doar parţială şi limitată, fără să includă echipamentele auxiliare, cablurile, aparatele AMC. Conducerea M.E.E. al U.R.S.S. a hotărît să se respecte integral proiectele de modernizare, iar această categorie de lucrări să se includă în planul de investiţii (capitolul *Reechipare tehnică*) şi să se finanţeze din fondurile de dezvoltare.

În condiţiile noului mecanism economico-financiar, printr-un ordin al M.E.E. al U.R.S.S. din decembrie 1987 s-a stabilit, printre altele, ca lucrările de reechipare să se efectueze de personalul de reparaţii al sistemelor energetice, de întreprinderile Trusturilor Soiuzenergoremont, Soiuzenergomontaj, Soiuzelektromontaj şi Soiuzenergoavtomatika, pe baza proiectelor elaborate de proiectantul general şi aprobate de directorul centralei electrice, directorul general al sistemului electroenergetic respectiv şi directorul centralei industriale.

Proiectarea se face într-o singură fază — proiect de execuţie, pe baza soluţiilor unificate şi a celor mai noi realizări tehnico-ştiinţifice, care să asigure un înalt nivel de exploatare şi de siguranţă.

Beneficiarii sînt obligaţi ca în trim. IV înaintea anului de plan de proiectare să analizeze starea echipamentului supus înlocuirii şi să elaboreze listele de obiective ce vor fi modernizate. Ei trebuie să transmită proiectantului general tema tehnică pentru proiectare, aprobată în acelaşi mod ca pentru obiectivele noi, documentaţia de fabrică elaborată de fabricile furnizoare ale echipamentelor, precum şi documentaţiile de execuţie privind tehnologia de montaj şi de construcţii, elaborate de Soiuzenergoremont şi Soiuzenergoavtomatika.

Beneficiarii trebuie să încheie contracte cu proiectantul general pentru proiecte şi cu Soiuzenergoremont pentru prelucrarea documentaţiilor de fabrică şi să asigure totodată finanţarea proiectării în conformitate cu o circulară specială a Băncii Centrale de investiţii.

În acest context, se precizează că documentaţia de execuţie privind tehnologia de montaj şi de construcţii, incluzînd volumele de lucrări de modernizare a turbinelor, cazanelor, generatoarelor şi transformatoarelor, în limitele de proiectare ale uzinelor furnizoare de echipamente, se elaborează de către Soiuzenergoremont în colaborare cu aceste fabrici, iar în caz de necesitate, cu concursul sistemelor energetice, pe baza unui contract direct cu beneficiarul. Proiectantul general predă proiectul de execuţie pînă la 1 iunie, iar specificaţia de echipamente, conducte, armături, AMC-automatizare, cabluri etc. pînă la 1 aprilie, în anul de dinaintea celui planificat pentru începerea lucrărilor de investiţii.

La repartizarea investiţiilor se acordă prioritate modernizărilor şi reechipărilor de obiective energetice şi, în acest context, acelor obiective care dispun de proiecte complete. În cazul insuficienţei fondurilor de dezvoltare se apelează la credite.

Recepţia se face pe baza instrucţiunilor PR-34—70—002—83, valabile pînă în 1989.

Durata de viaţă după reechipare este practic egală cu a unui obiectiv nou, dar modernizarea se realizează cu o investiţie specifică cu mult mai redusă. În prezent se elaborează o instrucţiune privind regulile de determinare a duratei de viaţă.

La pregătirea planurilor anuale şi de perspectivă a reechipărilor (modernizărilor) se ţine cont de unele recomandări, printre care semnalăm:

1 — la CTE cu grupuri blocizate reconstrucţia tehnică se realizează simultan pentru toate elementele blocului;

2 — la echipamentul electric se va analiza temeinic oportunitatea înlocuirii acestuia cu altul nou, avînd performanţe superioare;

3 — la înlocuirea echipamentului cu altul nou, cel vechi trebuie casat, iar pentru cel nou este absolut necesară elaborarea unui proiect;

4 — montarea unui nou echipament se planifică şi se recepţionează în mod identic cu noile investiţii;

5 — nu se recomandă, decît în cazuri excepţionale, modernizarea agregatelor cu o putere pînă la 25 MW, în aceste cazuri preferîndu-se înlocuirea cu agregate de puteri superioare.

(După: Energhetik, U.RS.S., nr. 7, 1988)

SISTEME NUMERICE DESCENTRALIZATE DE AUTOMATIZARE UTILIZATE ÎN TERMOCENTRALE

În ultimii ani, sistemele numerice descentralizate de automatizare (SDA) au dobîndit o arie largă de aplicaţii pe plan mondial, determinînd importante modificări ale concepţiei de organizare a conducerii şi de automatizare a termocentralelor.

În cadrul SDA variabilele de proces sînt prelucrate intern ca informaţii codificate digital şi nu mai sînt reprezentate analogic de valorile unor semnale de tensiune sau curent. Structura de bază este alcătuită din microprocesoare, care în combinaţie cu circuite de memorii alcătuiesc un gen de microcalculatoare specializate, care permit o prelucrare descentralizată, atît fizic, cît şi funcţional.

Legătura cu procesul se realizează prin intermediul conversiei numeric/analogice sau binare a variabilelor, iar transmiterea informaţiilor în cadrul sistemelor se realizează pe magistrale seriale de comunicaţie (BUS). Interfaţa cu operatorul uman se realizează prin intermediul aparaturii de pupitru de comandă care cuprinde şi console de operare dotate cu monitoare TV.

Principalele avantaje ale aplicaţiilor acestor echipamente în termocentrale sînt:

A1. Reducerea volumului echipamentelor şi a cantităţii de cabluri prin majorarea substanţială a densităţii de funcţiuni realizate pe echipament şi a comunicaţiilor seriale.

A2. Montarea instalaţiilor de automatizare realizate cu echipamente convenţionale este posibilă numai într-o ordine strict eşalonată în timp. Pe de altă parte, conexiunile între diversele echipamente pot fi executate numai în conformitate cu schemele definitive de conexiuni. Spre deosebire de acestea, la SDA activităţile hardware se pot realiza simultan cu cele software. Elaborarea documentaţiilor necesare comandării echipamentelor, precum şi fabricaţia acestora decurg într-un timp mult mai scurt. Programele se pot implementa cu puţin timp înainte de probele de PIF (comparativ cu timpul necesar cablării repartitorului de conexiuni).

A3. Flexibilitatea sporită a sistemelor programabile conduce la creşterea eficienţei în condiţiile în care (statistic vorbind) circa 40 % din echipamentele de automatizare aferente instalaţiilor noi necesită modificări în vederea obţinerii unei funcţionări mulţumitoare. La echipamentele clasice aceasta înseamnă refacerea cablajului şi revizuirea documentaţiei afectate de modificări. La SDA se tinde spre revizie efectuată numai de la tastură, documentaţia corectată la zi urmînd să fie relistată.

A4. SDA permit aplicarea noilor teorii perfecţionate din domeniul automatizării.

Pe lîngă aceste avantaje sînt de menţionat următoarele dezavantaje :

D1. Tehnica numerică va fi, chiar în viitorul apropiat, greu accesibilă operatorilor. Ea este mai puţin „transparentă" şi „palpabilă", majoritatea mărimilor nu mai sînt uşor de măsurat cu mijloace clasice. Acomodarea cu modul de lucru prin intermediul tastaturii şi monitoarelor nu este de netrecut, dar este nevoie de un timp mai îndelungat pentru şcolarizare, exersare, dobîndire a experienţei de exploatare.

D2. SDA implică operarea şi supravegherea prin intermediul monitoarelor. Reprezentările pe display-uri se realizează în imagini parţiale. Este necesară acumularea unui volum minim de experienţă pentru a se putea realiza o reprezentare a instalaţiilor tehnologice într-un compromis optim. Prin intermediul pupitrelor actuale instalaţia tehnologică este în mod optim reprezentată prin imagini de tip „paralel". Casetele de comandă şi aparatele indicatoare sînt regăsite în mod firesc de către operator în acelaşi loc din pupitru, ceea ce uşurează într-o oarecare măsură orientarea operatorilor.

D3. Preluarea variabilelor de proces pe magistrale de comunicaţie din termocentrale a generat conflicte (legate de timp) mult mai greu de rezolvat decît era de aşteptat. Utilizarea capacităţilor maximale de prelucrare a semnalelor poate conduce la întîrzieri greu de tolerat în anumite cazuri. Rezultatele experimentărilor iniţiale realizate în acest domeniu de numeroase firme de pe plan mondial au fost sub nivelul celor estimate. Din aceste motive s-au realizat analize laborioase ale modului în care trebuie construite sistemele de BUS, determinînd totodată şi punctele în care trebuie menţinute preluările individuale paralele de informaţii. Comparativ cu sistemele convenţionale de aparatură, sistemele numerice permit, prin modul de construcţie şi conectare a BUS-urilor, o mare varietate de configuraţii care necesită a fi analizate în amănunt din punctul de vedere al eficienţei economice, disponibilităţii şi al modului de utilizare a timpilor de comunicaţie.

În pofida dificultăţilor iniţiale, inerente, marile firme specializate în producţia de aparatură de automatizare au actualmente în fabricaţie curentă SDA destinate termocentralelor, gama de aplicaţii aflate deja în funcţiune crescînd continuu. Pe această linie se menţionează :

— TELEPERM-ME — realizat de firma Siemens AG;
— PROCONTROL-P — realizat de firma BBC — ASEA;
— CONTRONIC 3 — realizat de firma Hartmann-Brown;
— TDC 3000 — realizat de firma Honeywell;
— AUDATEC — realizat de firma GRW.

Caracteristicile comune ale acestor sisteme sînt :

— realizează în întregime toate funcţiile instalaţiei de automatizare din centrale termoelectrice clasice sau nucleare : culegerea informaţiilor din proces, tratarea informaţiilor, reglare automată, comandă-protecţie-interblocări, supraveghere, semnalizare, calcul economic şi optimizare;
— structurarea echipamentelor pe patru niveluri :
a) staţii locale de cuplare la proces;
b) dulapuri neoperative de prelucrare;
c) echipamentele de interfaţă om-operator;
d) calculatoare de proces în nivelul ierarhic superior;
— transmisia serială a informaţiilor între nivelurile de echipament prin intermediul unor BUS-uri redondante realizate din cablu coaxial, cu o viteză cuprinsă între 250 kb/s . . . .1 Mb/s şi imunitate ridicată la perturbaţii;
— disponibilitate configurabilă la proiectare în funcţie de mărimea, importanţa şi natura obiectivului;
— conducerea din camere de comandă informatizate în soluţii mixte cu echipamentele clasice de pupitru şi panou;
— staţii de diagnoză — configurare-dezvoltare;
— configurare facilă realizată prin dezvoltarea unui volum mare de software de firmă.

Bibliografie

[1] Panis, L., M.. Salm, M. *PROCONTROL P, Un systeme de controle — comande moderne pour centrales.* În : Revue Brown Boveri, nr. 8/84.

[2] Van Runwyk, M. *D'application du PROCONTROL P.* În : Revue Brown Boveri, nr. 8/84.

[3] Freymeyer, Ph., Scherschmidt, F. *Neues Leittechnisches Konzept für das automatische konventionelle Dampfkraftwerk.* În : VGB Kraftwerkstechnik, nr. 4/82.

[4] Hartmann Braun Dokumentation 66—003 *Automatisierungssystem CONTRONIC 3,* 1980.

[5] *Siemens — Prozessautomatisierungssystem TELEPERM M.* Technische Beschreibung E 65/C 71000—T7400C1--2—1980.

Ing. MIHAI DINCĂ — ISPE

CIRED—1987 — A NOUA CONFERINŢĂ INTERNAŢIONALĂ ÎN PROBLEMA REŢELELOR ELECTRICE DE DISTRIBUŢIE

La Liege (Belgia) a avut loc în perioada 4—8 mai 1987 a 9-a Conferinţă a CIRED la care au participat 1150 delegaţi din 45 ţări. Au avut loc şase şedinţe de lucru. La conferinţă s-a organizat o expoziţie specializată pentru echipamentele instalaţiilor de distribuţie şi aparatele de măsură aferente la care au expus 25 de firme. Au fost expuse peste 100 rapoarte.

Cele mai actuale teme ale referatelor prezentate la secţia *„Proiectarea şi dezvoltarea reţelelor de alimentare cu energie electrică, de utilitate generală"* au fost:

1. Proiectarea reţelelor electrice cu ajutorul calculatoarelor şi a sistemelor grafice interactive.
2. Bănci grafice de date.
3. Dezvoltarea şi proiectarea reţelelor electrice rurale.

La secţie s-au prezentat 14 referate. A fost subliniată cooperarea CIGRE—CIRED în domeniul cercetării unor criterii tehnico-economice comune: metode unice de proiectare, transformarea optimă, calculul parametrilor şi gradul de siguranţă al aparaturii, gradul de automatizare a reţelelor electrice.

Prin decizia CIRED şi a UPDEA (Uniunea producătorilor şi distribuitorilor de energie electrică din ţările Africii) ,în 1988 va avea loc Conferinţa cu tema *„Alimentarea electrică în ţările în curs de dezvoltare"*. S-a hotărît organizarea unui comitet comun CIGRE—CIRED. Se programează, de asemenea, ca în perioada 8—12 mai 1989 să aibă loc în Marea Britanie a 10-a Conferinţă a CIRED.

După: Referativnîi jurnal, 22, Energhetika, vol. general, nr. 1/1988 poziţiile 1 J 54 şi 1 J 55).

OVIDIU ŢUŢUIANU, Stocarea energiei. Editura tehnică, Bucureşti—1987, 163 p.

Apărută în colecţia *„Ştiinţa şi tehnica pentru toţi"* seria *„Tehnica la zi"* a Editurii Tehnice, lucrarea cu titlul de mai sus abordează, într-o formă accesibilă oricărui cititor, o gamă largă de aspecte legate de căile şi modalităţile de stocare a energiei, precum şi de aplicaţiile practice ale procedeelor respective. Avînd în vedere rolul important ce se acordă astăzi iniţiativelor de economisire şi gospodărire judicioasă a energiei, stocarea energiei se înscrie în acest context cu rezultate remarcabile privind aportul la efectul general de punere în valoare a oricăror rezerve energetice. Este cunoscut şi recunoscut astăzi faptul că pînă la descoperirea de noi surse energetice notabile, cu exploatare economică şi tehnologică la îndemîna actualei societăţi industriale, stocarea energiei reprezintă o alternativă deosebit de importantă de economisire şi conservare a actualelor resurse.

Orientată pe aceste probleme, lucrarea la care ne referim este structurată pe 7 capitole, care prezintă succint preocupările specialiştilor în domeniul stocării energiei, scoţîndu-se în relief realizările obţinute şi direcţiile în care se va investiga în perspectivă. Astfel, *capitolul 1* al cărţii prezintă cadrul general al problematicii energiei şi conversiei acesteia: omul şi energia, conversia energiei (în trepte, directă şi modificări în cadrul aceleiaşi forme de energie).

Capitolul 2 se ocupă de aplicaţiile stocării energiei şi scopul stocării. După expunerea necesităţii stocării energiei, sînt prezentate stocajele de energie în natură, stocajele în energetică (aplatisarea curbelor de sarcină) după care, în continuare, sînt trecute în revistă: stocarea energiei chimice a combustibililor solizi şi lichizi, stocarea combustibililor gazoşi, stocarea hidrogenului, stocarea energiei termice, a energiei mecanice şi a celei electrice.

Capitolele 3—6 aprofundează în continuare cele patru categorii principale de stocare a energiei:

— stocarea energiei chimice a combustibililor (solizi, lichizi, gazoşi şi sintetici);

— stocarea energiei termice (pe baza căldurii fizice, pe baza căldurii latente şi a căldurii reacţiilor chimice reversibile);

— stocarea energiei mecanice (a energiei potenţiale în cîmpul gravitaţional, a energiei hidraulice pe baza acumulărilor hidro prin pompare a energiei resorturilor mecanice, a energiei cinetice în volanţi şi a energiei în gaze comprimate);

— stocarea energiei electrice (stocarea electrostatică, electrochimică, electrolitică şi electromagnetică).

Ultimul capitol al cărţii se referă la importanţa şi limitele economice ale stocării energiei din care rezultă că procedeele şi aplicaţiile prezentate au devenit, şi cu atît mai mult vor deveni în viitorul apropiat, una din formele importante unanim acceptate pentru depăşirea crizei energetice, căreia încă de acum, a început să i se găsească soluţii.

Cartea a fost elaborată în baza unei ample bibliografii (36 titluri) de strictă actualitate şi reflectă preocupările şi pasiunea autorului pentru problemele energetice cu care se confruntă astăzi nu numai specialiştii din domeniu, ci şi omul de rînd — beneficiar al diverselor forme de energie în contextul civilizaţiei moderne.

Ca urmare, lucrarea se adresează unei sfere largi de cititori, lecturarea ei fiind uşoară, plăcută şi antrenantă; informaţiile prezentate interesează în egală măsură şi pe specialistul ce lucrează în domeniul energetic.

Deosebita actualitate a problematicii prezentate, precum şi optimismu, ce se degajă din conţinutul ei în legătură cu viitorul energetic al omenirii, conferă cărţii, credem, o largă audienţă în rîndurile publicului cititor contribuind, în acelaşi timp, la lărgirea ariei literaturii de specialitate din ţara noastră.

MIHEŢ, I. şi FURTUNESCU, H. Siguranţa în exploatare a instalaţiilor energetice. Editura Tehnică, Bucureşti, 1987, 368 pagini.

În legătură cu siguranţa în funcţionare a sistemelor energetice şi a părţilor lor componente s-a scris relativ mult în ultimii ani în ţara noastră. Dispunem de un concept bine conturat privind nivelurile de fiabilitate şi siguranţă ale diverselor părţi componente ale SEN, ţara noastră beneficiind de o autentică şcoală în această direcţie recunoscută şi peste hotare.

Amintim în acest sens prescripţiile şi normativele M.E.E. privind siguranţa instalaţiilor energetice fundamentate de studii şi cercetări ce se desfăşoară în ţară de peste un sfert de secol. Lucrarea recenzată, care se înscrie în suita cărţilor pe această temă, este de o factură mai deosebită. Este mai puţin teoretică, urmărind prezentarea problemei siguranţei în funcţionare a instalaţiilor energetice în primul rînd, prin expunerea unui număr relativ mare de cazuri de avarii deosebite care au avut loc în aceste instalaţii, atît în ţara noastră, cît şi în sistemele energetice ale altor ţări. Fiecare din exemplele prezentate poate constitui un studiu de caz din care rezultă concluzii cu privire la cauzele care le-au determinat, în special în ceea ce priveşte măsurile de prevenire ce trebuie adoptate.

Prin profilul, particularităţile şi atributele sale, lucrarea la care ne referim are un singur precedent în literatura tehnică de specialitate din ţara noastră. Este vorba de volumul *Avarii în instalaţiile energetice* (autori: T. Popa, A. Baciu şi T. Lazlo) apărută tot în Editura Tehnică în anul 1978 şi care constituie prima lucrare apărută în ţara noastră, cu caracter practic şi concret, în domeniul analizei avariilor în energetică, a profilaxiei acestora şi a concretizării căilor, mijloacelor şi măsurilor de creştere a indicilor de siguranţă şi fiabilitate a sistemelor energetice şi a părţilor componente ale acestora.

Lucrarea pe care o recenzăm este structurată pe opt capitole a căror succesiune urmăreşte producerea, transportul şi distribuţia energiei electrice şi termice ca laturi de bază ale funcţiunii sistemelor energetice.

Astfel, după o parte introductivă cu caracter general în care se prezintă tematica lucrării, se expun problemele actuale ale funcţionării sistemelor energetice (*cap. 2*): siguranţa în funcţionarea sistemelor energetice, defecţiuni în funcţionare, întreruperea furnizării energiei electrice şi termice consumatorilor şi consecinţele acesteia, noi tendinţe de dezvoltare pe plan mondial a sistemelor energetice şi a părţilor lor componente (centrale termoelectrice, hidroelectrice, reţele de transport şi ditribuţie etc.), probleme ale conducerii prin dispecer a sistemelor energetice.

Capitolul 3 al cărţii este rezervat prezentării unor avarii şi incidente la echipamentele şi instalaţiile din centralele termoelectrice. După analiza şi prezentarea factorilor determinanţi pentru funcţionarea unei termocentrale, se tratează defecţiunile la instalaţiile de cazane, la instalaţiile de turbine, la instalaţiile de combustibil şi la echipamentele şi instalaţiile electrice. În continuare sînt prezentate unele avarii caracteristice la echipamentele şi instalaţiile din centralele termoelectrice: avarii şi incidente la turbogeneratoarele răcite cu hidrogen, avarii şi incidente cauzate de manevre greşite executate de personalul de exploatare, avarii în centralele termoelectrice cauzate de defecţiuni ale echipamentului şi, în final, instalaţii pentru generatoarele electrice.

Capitolul 4 al cărţii se referă la avarii şi incidente tehnice la instalaţiile şi echipamentele centralelor hidroelectrice: avarii şi incidente la echipamentele electromecanice şi la instalaţiile de comandă, control şi automatizare din cadrul CHE cu prezentarea unor avarii caracteristice şi, respectiv, tratarea aspectelor privind mentenanţa instalaţiilor şi echipamentelor din CHE.

Capitolele 5 şi 6 ale lucrării cuprind avariile şi incidentele la partea electrică a sistemelor energetice: staţii de transformare şi conexiuni şi linii electrice de transport şi distribuţie a energiei

electrice cu analiza cauzelor și măsurilor de prevenire.

Capitolul 7 se ocupă de avariile și incidentele ce afectează în ansamblul lor sistemele energetice sau subsisteme ale acestora : stările sistemelor energetice, elemente comune avariilor de sistem și, în final, prezentarea unor avarii ce au avut loc în sistemele energetice, precum și în unele zone ale acestora cu analiza măsurilor de prevenire și utilizare a instalațiilor de automatizare în situația de avarie.

Ultimul capitol al cărții se ocupă de prelucrarea datelor privind evidența avariilor și incidentelor din instalațiile sistemelor energetice : analiza globală a incidentelor și avariilor și sistemul informativ de gestiune a instalațiilor energetice.

Trecerea pe scurt în revistă a conținutului cărții atestă că aceasta cuprinde aproape în totalitate problematica instalațiilor energetice clasice ale sistemelor energetice privite sub aspectul practic, concret, al siguranței în funcționare, al menținerii parametrilor de stare în vederea asigurării cu energie de calitate corespunzătoare a consumatorilor.

Deși lucrarea conține mai puține elemente teoretice, totuși, în legătură cu cauzele de avarii expuse s-au prezentat și principalele probleme teoretice referitoare la măsurile ce trebuie luate pentru prevenirea acestora. Lucrarea este scrisă în baza unei ample bibliografii de strictă actualitate și specialitate (84 de titluri) la care se adaugă experiența personală a autorilor — cunoscuți specialiști ai Ministerului Energiei Electrice, cu vechime apreciabilă în problemele care privesc siguranța sistemului energetic național românesc. Caracterul practic, concret, conferă cărții o mare utilitate pentru specialiștii care își desfășoară activitatea în centralele și rețelele electrice, precum și în conducerea sistemelor energetice. Cartea reprezintă, dacă nu total măcar parțial, o punte de trecere între studiile și lucrările teoretice elaborate în țară în domeniul siguranței instalațiilor energetice și realitatea practică din instalațiile energetice, ceea ce poate conduce la perfecționarea modelelor matematice probabilistice pentru predeterminarea indicatorilor de siguranță ai instalațiilor energetice și prin aceasta la îmbunătățirea concepției de proiectare a acestor instalații.

Astfel, cartea este tot atît de utilă și personalului tehnic din industria constructoare de mașini și utilaje energetice, precum și cercetătorilor, proiectanților și cadrelor didactice, respectiv studenților din specialitățile energetică, electrotehnică, automatică și construcții de mașini, cărora le pune la dispoziție un bogat material privind defecțiunile, deranjamentele, incidentele și avariile din centralele și rețelele electrice ale sistemelor energetice.

Desigur că o asemenea lucrare, mai mult decît altele, se impune a fi mereu revizuită, completată și adusă la zi în ceea ce privește problemele de exploatare și supraveghere ale sistemelor energetice.

O eventuală nouă ediție a cărții considerăm că ar fi indicat să conțină un capitol care să se refere la centralele electrice nucleare, precum și elemente care se referă la cibernetizarea sistemelor energetice (teleconducerea centralelor electrice și a rețelelor electrice pe baza informaticii și calculatoarelor : telecomenzi, telemăsură, telesemnalizări, utilizarea calculatoarelor de proces etc.).

Între studiile teoretice cu aspect matematic și realitatea practică din sistemele energetice privind siguranța și fiabilitatea instalațiilor energetice încă nu s-a conturat o corelare corespunzătoare care să fundamenteze profilaxia avariilor. Este un domeniu în care se cere a se face încă eforturi mai mari de analiză și sinteză.

Oricum cartea la care ne referim aduce o nouă contribuție din acest punct de vedere, reușind să deschidă noi căi pentru cunoașterea și aplicarea unui ansamblu divers de măsuri care să conducă la creșterea eficienței și performanțelor de siguranță a instalațiilor energetice.

Ing. Romulus Sfichi

СОДЕРЖАНИЕ

НАПРАВЛЕНИЯ В ЭНЕРГТИКЕ

ГАВРИЛ НИАК, ИОАН ПОП: Установки для газификации углей в слое 433—442

ЭНЕРГЕТИКА НА ХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

АНТОН ГЫРБАЧА: Сравнительный анализ энеретической эффективности пневматических, электрических и гидростатических приводов при проведении строительно-монтажных работ в энергетике 443—448

ДУМИТРУ ДОБРИНЕСКУ, ВАСИЛЕ СОМОГИ, КОРНЕЛ ПЭТРАШКУ: Оптимизация парогенераторов рекуператоров тепла 448—455

КОНСТАНТИН БРЭТИАНУ, МИХАЙ МАРИУС ВОРОНКА, КОРНЕЛ РОТАРУ: Анализ методом конечных элементов тепловых полей из полуфабрикатов, при непрерывном литье 455—460

УПРАВЛЕНИЕ И АВТОМАТИКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

МОНИКА УНГУРЯНУ, ГЕОРГЕ МАНЯ: Принципы компенсации реактивной мощности в Национальной энергосистеме СРР. К вопросу о потребностях в средствах компенсации реактивной мощности в зоне Молдовы 461—463

АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

ТРАЯН МАУНА, ДОРИН КИРИКА, СОРИН ГИЦЭ: Альтернативное решение транспортировки тяжелых и негабаритных грузов на АЭС 464—467

НОВЫЕ ИСТОЧНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ

ГЕОРГЕ ВОЙКУ, МИХАЙ ЛАУРИК, МАУРИЧИУ ТУДОР, КРИСТИАН ЦЫНЦЭРЯНУ: Специфичная интегрированная концепция ветроагрегата средней мощности 468—472

НОВОСТИ

ИЗ МИРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ 469, 473—475

РЕЦЕНЗИИ 442, 476—477

INHALT

ENTWICKLUNGSRICHTUNGEN IN DER ENERGIEWIRTSCHAFT

GAVRIL NIAC, IOAN POP: Anlagen zur Kohleschichtvergasung 433—442

DIE ENERGIEWIRTSCHAFT IN INDUSTRIEBETRIEBEN

ANTON GÂRBACEA: Vergleichende Analyse des energetischen Wirkungsgrades der pneumatischen, elektrischen und hydrostatischen Antriebe bei energiewirtschaftlichen Bau- und Montagearbeiten 443—448

DUMITRU DOBRINESCU, VASILE SOMOGHI, CORNEL PĂTRAȘCU: Die Optimierung der Dampferzeuger mit Wärmerückgewinnung 448—455

CONSTANTIN BRĂTIANU, MIHAI MARIUS VORONCA, CORNEL ROTARU: Die Analyse mit finiten Elementen der Wärmefelder aus Halberzeugnissen beim kontinuierlichen Anguss 455—460

DIE LEITUNG UND REGELUNGSTECHNIK DER ENERGIESYSTEME

MONICA UNGUREANU, GHEORGHE MANEA: Grundsätze der Blindleistungskompensierung im nationalen Verundnetz. Aspekte über notwendige Mittel zur Blindleistungskompensierung in der Moldau-Gegend 461—463

KERNKRAFTWERKE

TRAIAN MAUNA, DORIN CHIRICA, SORIN GHIȚĂ: Alternativlösung zum Transport der schweren und überdimensionalen Bestandteile 464—467

NEUE ENERGIEQUELLEN UND -VERFAHREN

GHEORGHE VOICU, MIHAI LAURIC, MAURICIU TUDOR, CRISTIAN ȚĂNȚĂREANU: Das spezifische integrierte Konzept einer Mittelleistungs-Windturbine 468—472

NEUIGKEITEN

DIE ENERGIEWIRTSCHAFT WELTWEIT 467, 473—475

BUCHBESPRECHUNGEN 442, 476—477

SOMMAIRE

ORIENTATION DES POLITIQUES ÉNERGÉTIQUES

GAVRIL NIAC, IOAN POP : Installations de gazéification en couche du charbon 433—442

L'ÉNERGIE DANS L'ENTREPRISE

ANTON GÂRBACEA : L'analyse comparative de l'efficience énergétique des commandes pneumatiques, électriques et hydrostatiques utilisées dans les travaux de constructions et de montages 443—448

DUMITRU DOBRINESCU, VASILE SOMOGHI, CORNEL PĂTRAȘCU : L'optimisation des générateurs de vapeur récupérateurs de chaleur 448—455

CONSTANTIN BRĂTIANU, MIHAI MARIUS VORONCA, CORNEL ROTARU: L'analyse à éléments finis des champs thermiques en sémi-produits à la coulée continue 455—460

CONDUITE ET AUTOMATION DES RÉSEAUX D'ÉNERGIE

MONICA UNGUREANU, GHEORGHE MANEA : Principes de compensation de la puissance réactive dans le réseau d'énergie roumain. Aspects concernant le nécessaire de moyens de compensation de la puissance réactive en Moldavie 461—463

CENTRALES NUCLÉAIRES

TRAIAN MAUNA, DORIN CHIRICA, SORIN GHIȚĂ : Solution alternative pour le transport des pièces lourdes et agabaritiques destinées aux centrales nucléaires 464—467

NOUVELLES SOURCES ET TECHNOLOGIES ÉNERGÉTIQUES

GHEORGHE VOICU, MIHAI LAURIC, MAURICIU TUDOR, CRISTIAN ȚĂNȚĂREANU : La conception spécifiquement intégrée d'un aérogénérateur de moyenne puissance 468—472

NOUVEAUTÉS

L'ÉNERGIE DANS LE MONDE 467, 473—475

COMPTE-RENDUS 442, 476—477

CONTENTS

TRENDS IN ENERGY POLICY

GAVRIL NIAC, IOAN POP : Facilities for Coals Layer Gasification 433—442

ENERGY IN THE ENTERPRISES

ANTON GÂRBACEA : Comparative Power Efficiency Analysis Regarding Pneumatic, Electric and Hydrostatic Drivings at the Execution of Energy Construction and Erection Activities 443—448

DUMITRU DOBRINESCU, VASILE SOMOGHI, CORNEL PĂTRAȘCU : Heat Recovering Steam Generators Optimization 448—455

CONSTANTIN BRĂTIANU, MIHAI MARIUS VORONCA, CORNEL ROTARU : Finite Elements Analysis of Thermal Fields from Half-Finished Products During Continuous Casting 455—460

ENERGY SYSTEMS CONTROL AND AUTOMATION

MONICA UNGUREANU, GHEORGHE MANEA : Reactive Power Balance Principles for the National Power Grid. Aspects Regarding the Reactive Power Means in the Moldavia Area 461—463

NUCLEAR POWER PLANTS

TRAIAN MAUNA, DORIN CHIRICA, SORIN GHIȚĂ : Alternative Solution for the Transportation of Heavy and Agabaritic Parts of Nuclear Power Plants 464—467

NEW ENERGY SOURCES AND TECHNOLOGIES

GHEORGHE VOICU, MIHAI LAURIC, MAURICIU TUDOR, CRISTIAN ȚĂNȚĂREANU : Specific Integrated Medium Power Wind Turbine Concept 468—472

NEWS

ENERGY WORLDWIDE 467, 473—475

REVIEWS 442, 476—477

COLEGIUL DE REDACȚIE

Președinte, redactor responsabil: **dr. ing. Eugeniu Pavel**
Redactori responsabili adjuncți: **dr. ing Mihai G. M. Pop, dr. ing. Gheorghe Bălan, ing. Radu Opincaru**
Secretar de redacție: **dr. ing. Teodor Popa**
Gestiunea financiară: **ec. Pompiliu Silvășeanu**
Orientări în energetică: **dr. ing. Mario Duma**
Energetica în unități economice: **ing. Ion Măiereanu, ing. Alexandru Florescu**
Dezvoltarea sistemelor energetice: **dr. ing. Nicolae Armencoiu, dr. ing. George Manolescu**
Conducerea și automatica SE: **dr. ing. Victor Romert, dr. ing. Jean Constantinescu**
Centrale termoelectrice: **conf. dr. ing. Costin Moțoiu, ing. Romeo Zbarcea**
Centrale hidroelectrice: **dr. ing. Gheorghe Luca**
Centrale nuclearoelectrice: **ing. Adrian Georgescu, prof. dr. ing. Nicolae Dănilă, ing. Mircea Tarța**
Rețele electrice: **ing. Dinu Voinea, ing. Nicolae Georgian**
Alimentare cu căldură: **ing. Nicolae Niculescu**
Surse și tehnologii noi: **ing. Constantin Popescu**
Tehnologii chimice în energetică. Poluare: **dr. chim. Maria Maftei**
Organizarea producției și a muncii: **ing. Miron Popescu**
Terminologia energetică: **dr. ing. Iosif Cserveny**
Istoria electrificării: **ing. Paul Cartianu**
Noutăți: **ing. Mihai Nistor, ing. Romulus Sfichi**
Centre universitare și industriale:
București: **conf. dr. ing. Alexandru Selischi**
Iași: **prof. dr. ing. Alexandru Poeată**
Timișoara: **prof. dr. ing. Viorel Negru**
Cluj-Napoca: **conf. dr. ing. Silviu Darie**

Acest număr a fost realizat cu ajutorul următorilor secretari ai grupelor de specialitate:

— **ec. Florin Popovici** — Orientări în energetică
— **ing. Angela Perea** — Energetica în unități economice
— **dr. ing. Marius Pomîrleanu** — Conducerea și automatica sistemului energetic
— **ing. Călin Teodorescu** — Centrale nuclearoelectrice
— **ing. Ion Turcu** — Surse și tehnologii noi

Revista „ENERGETICA" este editată și administrată de Institutul de Cercetări și Modernizări Energetice prin Oficiul de Informare-Documentare pentru Energetică.
Vasile Pleșca — șef OIDE, **Ana Maria Chivu** — redactor

Revista ENERGETICA — publicație lunară, reflectă preocupările spirituale și realizările materiale în domeniul energeticii. Funcționează în conformitate cu *ROF* aprobat cu Ordinul nr. 97/1987. publicat în numărul 4/87 al revistei. Elaboratorii de lucrări propuse pentru publicare sînt rugați să consulte *„Îndrumările pentru întocmirea și prezentarea lucrărilor propuse pentru a fi publicate în revista Energetica"*, *„Ghidul pentru avizarea lucrărilor propuse pentru a fi publicate în revista Energetica"* apărute în numărul 12/86, precum și *„Planul tematic al revistei Energetica pe anii* 1987 — 1990" publicat în nr. 5/1987 al revistei.

Instituțiile pot achita abonamentele în contul de virament nr. 30.11.8.01.01 — — BN R.S.R. fil. sector 3. Costul unui abonament: 114 lei anual; costul unui exemplar: 12 lei.

41 401

ANNOUNCEMENTS FOR READERS ABROAD

- **The review "Energetica" can send on request from publications abroad reports translated in one of the worldwide spoken languages**
- **The review "Energetica" proposes a publication exchange with similar reviews and in relating fields**
- **The review "Energetica" provides and publishes or introduces books on energy received at the editorial office. Reviews and presentations of books sent on this purpose to the editorial office can be published as well**
- **The review "Energetica" publishes on request from authors abroad reports of energy of other materials: technical and scientific news, inventions-innovations, information about technical and scientific symposia, etc. written in one of the worldwide spoken languages**
- **Readers from abroad can subscribe through: ROMPRESFILATELIA — sectorul import-export, P.O. Box 12—501, telex 10376 prsfir, Calea Griviței nr. 64—66, București — România.**

Tiparul: Întreprinderea Poligrafică „Informația", București, str. Brezoianu 23—25 c—2549

ICEMENERG

INSTITUTUL DE CERCETĂRI
ŞI MODERNIZĂRI ENERGETICE

BUCUREŞTI Sect. III ● B-dul ENERGETICIENILOR,.8 ● Tel. 21.46.30

ICEMENERG, PRIN LABORATORUL DE CERCETARI HIDROENERGETICE realizează cercetări de laborator şi teren avînd ca scop :

- proiectarea şi exploatarea instalaţiilor componente ale circuitelor hidro tehnice din CTE, CET şi CNE :
  - •• Stabilirea performanţelor şi optimizarea instalaţiilor componente ale circuitelor hidrotehnice
  - •• Elaborarea metodologiilor de optimizare a exploatării circuitelor hidrotehnice în condiţii de restricţii ;
  - •• Cercetări în domeniul instalaţiilor de răcire (turnuri, lacuri etc.) şi a instalaţiilor de captare, transport şi evacuare a apei.
  - •• Cercetări în domeniul poluării termice şi a utilizării apelor reziduale la menţinerea şenalelor navigabile pe timp de iarnă.
- exploatarea centralelor hidroelectrice şi microhidrocentralelor :
  - •• Stabilirea performanţelor şi optimizarea funcţionării grupurilor şi centralelor hidroelectrice ;
  - •• Sisteme de protecţie a centralelor hidroelectrice în vederea funcţionării cu siguranţă sporită a hidroagregatelor (instalaţii debitmetrice, reglaj funcţie de cădere, protecţii la spargerea conductei forţate) ;
- exploatarea şi gospodărirea apelor în bazinele amenajate energetic şi a folosinţelor energetice :
  - •• Analize de bilanţ şi prognoze hidroenergetice ;
  - •• Studii de gospodărire a apelor şi de implementare a instalaţiilor debitmetrice la folosinţe energetice ;
  - •• Soluţii debitmetrice noi.

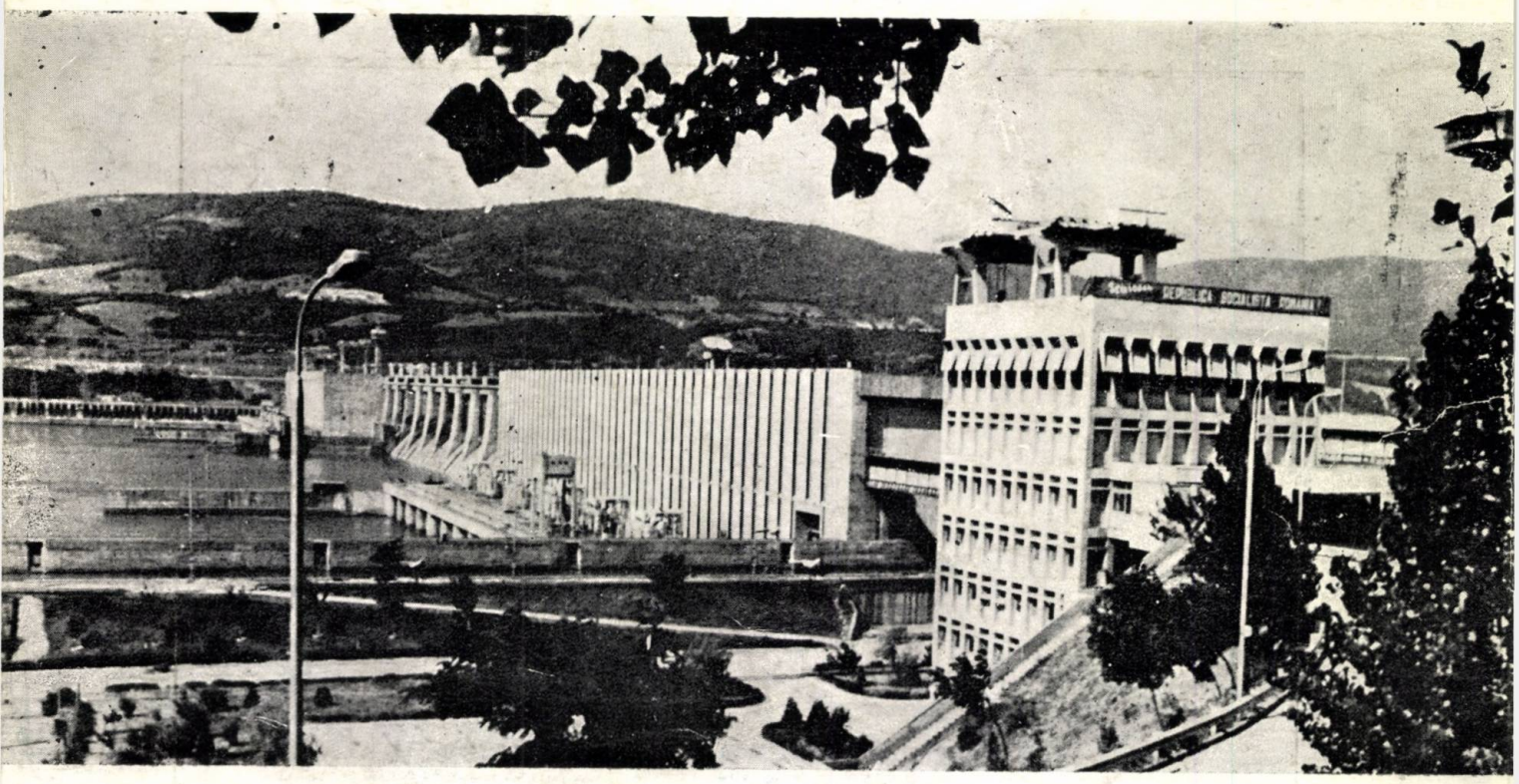
TAGCH

TRUSTUL ANTREPRIZA GENERALA DE CONSTRUCTII HIDROENERGETICE BUCURESTI

CALEA DOROBANTILOR NR. 103-105 TELEFON: 79 64 30
SECTOR 1 COD: 78.072 TELEX: 10244 P

execută în ţară şi în străinătate centrale hidroelectrice şi lucrări hidrotehnice complexe

1989 AUG 1



E 2039

ETE

MW

REFERÁLVA

R 1989 -06- 04

11

Cuprins

ENERGETICA ÎN UNITĂȚI ECONOMICE

CORNEL UNGUREANU, IOANA IONEL : Despre posibilitatea folosirii în scopuri energetice a gazelor reziduale 481

CENTRALE HIDROELECTRICE

MIHAI TOMA : Probleme referitoare la exploatarea eficientă a microhidroagregatelor echipate cu turbine Francis orizontale 486

ROMULUS VATAU, MIHAI STOICAN, PAUL DINESCU : Aspecte privind verificarea „in situ" a performanțelor microhidroagregatelor dotate cu turbine tip EOS 488

CENTRALE NUCLEAROELECTRICE

GABRIEL ROMAȘCU, IRINA NECHITOAIA, MIOARA GUȚU : Planificarea activităților de intervenție în caz de avarie la centralele nucleroelectrice 491

REȚELE ELECTRICE

GABRIEL CHIRIȚĂ, BORIS BORESCHIEVICI : Calculul luminanței suprafețelor reflectante interioare prin metoda coeficientului de luminanță 495

SURSE ȘI TEHNOLOGII NOI

ANTON GÂRBACEA : Montarea aeroagregatelor electrice de 300 kW pe muntele Semenic. Aspecte tehnologice principale privind lucrările de construcții și montaj 505

ALEXANDRU FLORESCU, CRISTINA PAVELESCU, COSTEL CÎRSTEA, ALEXANDRA SÎRBU : Rezultate și concluzii privind valorificarea căldurii apelor geotermale de potențial termic redus din zona Banat — Herculane 514

EMILIAN ZAIDES, LIANA OLAR, ADRIAN RADU : Instalație aerogeneratoare autonomă de 7 kW 518

NOUTĂȚI

INVENȚII — INOVAȚII 522

DE PERSONIS 523

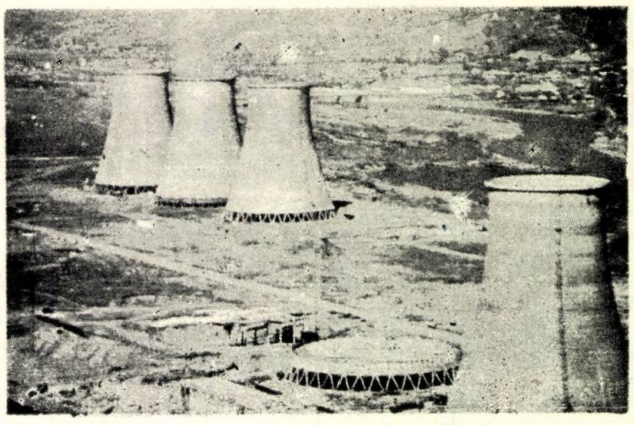
energetica

VOLUMUL XXXVI

BUCUREȘTI

NOIEMBRIE 1988

T. A. G. "ENERGOCONSTRUCTIA"
Calea Dorobanţilor nr. 103 - 105
Sector 1 - Bucureşti
Telefon 79.60.20 - telex 10179



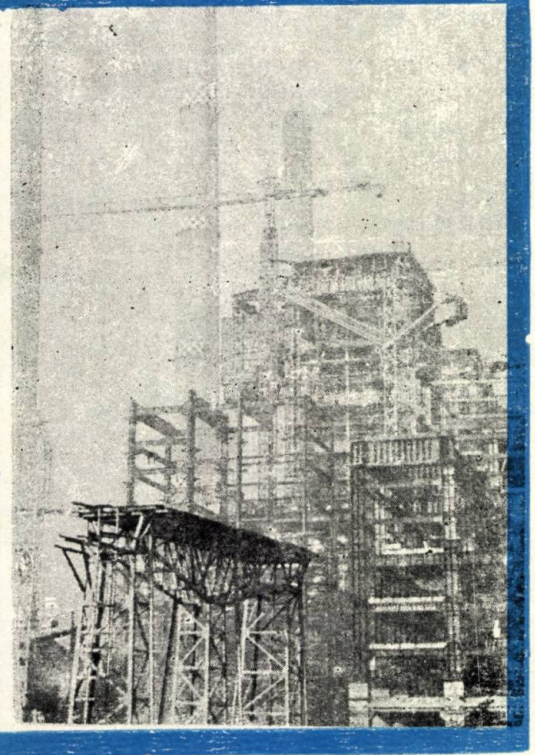
T.A.G. "ENERGOCONSTRUCTIA" A REALIZAT IN SIRIA TURNURI DE RACIRE SI COSURI DE FUM LA RAFINARIA DIN BANYAS SI LA FABRICA DE CIMENT DIN ALEPPO.

T.A.G. ENERGOCONSTRUCTIA, dispunînd de o dotare tehnică modernă şi de un important efectiv de muncitori de înaltă calificare, tehnicieni şi ingineri, realizează :

- Lucrări de construcţii şi instalaţii pentru **REPARATII CAPITALE** şi MODERNIZARI la toate obiectele aferente termocentralelor şi reţelelor de termoficare.

★ ★ ★

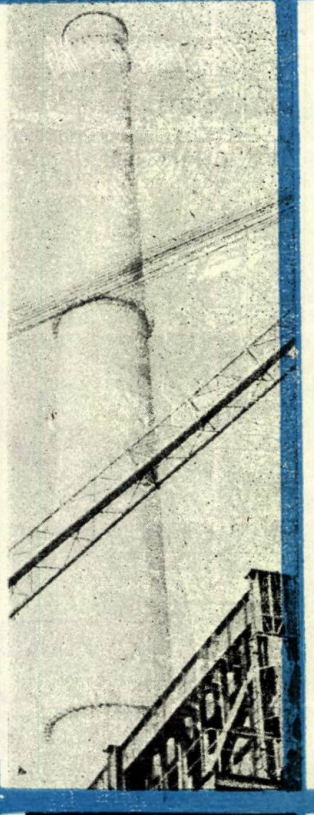
-LUCRARI HIDROTEHNICE AFERENTE TERMOCENTRALELOR :



LUCRARI DE CONSTRUCTII SI DE INSTALATII aferente termocentralelor electrice şi de termoficare de mare şi foarte mare putere funcţionînd pe cărbune, gaze, păcură, şisturi etc.

LUCRARI DE TEHNICITATE DEOSEBITA CA :

- magistrale şi reţele de termoficare pentru alimentarea marilor centre industriale şi urbane;
- turnuri de răcire de mare capacitate cu tiraj natural sau forţat (Q = 42.000 mc/h) ;
- coşuri de fum de mare înălţime (H = 280 m) ;
- fundaţii speciale pentru maşini şi utilaje în termocentrale ;
- staţii de transformare de 400, 200 şi 110 kV.



- baraje de diferite tipuri, regularizări de rîuri ;
- prize decantoare şi staţii de pompe pentru debite importante ;
- canale şi conducte de apă caldă şi rece în soluţii constructive variate.

TRUSTUL
energoconstrucţia

ENERGETICA

ORGAN AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE ŞI AL CONSILIULUI NAŢIONAL AL INGINERILOR ŞI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

SUB ÎNDRUMAREA CONSILIULUI ŞTIINŢIFIC AL INSTITUTULUI CENTRAL DE CERCETĂRI ENERGETICE

Anul 36 Nr. 11 noiembrie 1988

Energetica în unităţi economice

Despre posibilitatea folosirii în scopuri energetice a gazelor reziduale

Prof. dr. ing. CORNEL UNGUREANU, ing. IOANA IONEL*

MŰSZAKI INFORMÁCIÓS OSZTÁLY KÖNYVTÁR 1983

Descriptori : gaze reziduale, energie recuperabilă

CZ : 621.311.22 : 662.69

Articolul conţine o analiză a posibilităţilor în care este compatibilă interschimbabilitatea gazului natural cu gazul rezidual, în vederea folosirii acestei resurse energetice secundare pentru producerea aburului tehnologic.

The paper presents an analysis of the possibilities to change natural gases for the residual gases in order to use this secondary energy source for the generation of technological steam.

Introducere

În cele ce urmează se analizează posibilitatea folosirii a circa 800 m³**/h gaze reziduale recuperate în focarul cazanelor de abur CR—16A (6 buc.) şi CR—12C (3 buc.) existente în cele două centrale termice ale unui combinat petrochimic.

Pentru satisfacerea necesarului de abur al combinatului, de regulă funcţionează simultan cîte două cazane CR 12 C, iar iarna sau în perioada de reparaţie a unor instalaţii, funcţionează şi/sau numai unul, două, trei, patru sau cinci cazane CR—16 A.

Ţinînd seama de condiţiile locale, utilizarea gazelor reziduale recuperate ar putea să prezinte următoarele variante :

A — folosirea integrală numai la un singur cazan CR 16 A a întregului debit de gaze reziduale recuperate (800 m³**/h);

B — amestecarea gazelor reziduale recuperate (800 m³**/h) cu gaze naturale (140,76 m³/h) astfel încît împreună să asigure debitul nominal de abur al unui cazan CR 16 A;

C — injectarea gazelor reziduale recuperate în conducta de alimentare cu gaze naturale a cazanelor CR 16 A, considerîndu-se în funcţiune simultan două, trei, patru şi cinci cazane (variantele C 2, C 3, C 4 şi C 5);

D — injectarea gazelor reziduale recuperate în conducta de alimentare cu gaze naturale a cazanelor CR 12 C considerîndu-se în funcţiune unul sau două cazane (variantele D1 şi D2).

1. Interşanjabilitatea combustibililor gazoşi

În vederea aprecierii a priori a posibilităţilor de interschimbabilitate a combustibililor gazoşi în ultima vreme se apelează la indicii Weaver [1, 2, 3] a căror expresie matematică a fost stabilită parţial pe baza analizei teoretice a proceselor de aprindere şi propagare a flăcării, parţial pe elemente empirice rezultate din cercetări de laborator.

Expresiile analitice ale indicilor Weaver, în care notaţiile cu „*r*" se referă la gazele de schimb (gazele reziduale recuperate sau amestecul acestora în anumite proporţii cu gazul natural), iar celelalte la gazul de bază (gazul natural, pentru care au fost concepute şi realizate instalaţiile de ardere ale celor două tipuri de cazane), sînt prezentate mai jos :

a) sarcina termică :

$$I_H = \frac{H_{ir}}{H_i}\left(\frac{\rho}{\rho_r}\right)^{0,5}; \qquad (1)$$

* Prof. dr. ing. Cornel Ungureanu, ing. Ioana Ionel — Institutul Politehnic „Traian Vuia" Timişoara.

** m³ în condiţii normale de temperatură şi presiune pentru tot articolul.

b) aerul primar de combustie :

$$I_A = \frac{L_{min,r}}{L_{min}} \left(\frac{\rho}{\rho_r} \right)^{0,5}; \qquad (2)$$

c) ruperea flăcării :

$$I_L = I_A \frac{U_r}{U} \frac{1 - (O_2)_r}{1 - (O_2)}; \qquad (3)$$

d) returul flăcării :

$$I_F = \frac{U_r}{U} - 1,4\, I_A + 0,4; \qquad (4)$$

e) formarea funinginii :

$$I_{NF} = I_A + \frac{N_r - N}{110} - 1; \qquad (5)$$

f) formarea oxidului de carbon :

$$I_{CO} = I_A - 0,366 \frac{R_r}{R} - 0,634, \qquad (6)$$

în care :

H_{ir} și H_i — reprezintă puterea calorifică inferioară a gazului de schimb și de bază, în kJ/m³**;

ρ_r și ρ — densitatea gazului de schimb și de bază, în kg/m³**;

$L_{min,r}$ și L_{min} — volumul de aer minim necesar arderii perfecte a gazului de schimb și de bază, în m³/m³** combustibil;

U_r și U — viteza normală maximă de propagare a frontului flăcării în gazul de schimb și de bază, în cm/s;

$(O_2)_r$ și O_2 — conținutul de oxigen în analiza elementară a gazului de schimb, respectiv de bază, în %;

N_r și N — numărul atomilor de carbon, eliberați prin descompunerea pirogenetică, care revine la 100 molecule de gaz de schimb, respectiv de bază;

R_r și R — raportul numărului atomilor de hidrogen la numărul atomilor de carbon din hidrocarburi.

Interșanjabilitatea combustibililor gazoși este posibilă dacă valorile indicilor Weaver sînt egale cu cele ideale sau se înscriu în limitele de toleranță admisibile.

Indicele de sarcină I_H reprezintă practic raportul indicilor Wobbe [4] pentru gazul de substituție și cel de bază. În caz ideal $I_H = 1$, valorile admisibile fiind cuprinse într-o gamă de abateri de $\pm$ 6%, adică $I_H = 0,94-1,06$.

Indicele gradului de aerare I_A se bazează pe raportul debitelor aerului primar aspirat prin ejecție de combustibilul gazos. El reprezintă un factor fundamental în interpretarea stabilității arderii în cazul arzătoarelor de tip ejector sau semiejector [5]. În cazul arzătoarelor cu insuflarea aerului sub presiune, așa cum este cazul arzătoarelor AGP 1000/820 și AG 1200/1100 cu care sînt echipate cazanele CR 16 A și CR 12 C, indicele gradului de aerare își pierde sensul inițial, el putînd exprima, eventual, raportul debitelor de aer insuflate prin arzător, raport care evident trebuie să fie egal cu unitatea sau cuprins între aceleași limite de toleranță ca și ale sarcinii termice, adică $I_A = 0,94-1,06$.

Evaluarea tendințelor de rupere a flăcării se bazează pe corelarea gradului de aerare primară cu vitezele normale de propagare a frontului arderii, stabilitatea fiind asigurată de valori unitare, eventual supraunitare, avînd ca limită inferioară admisibilă $I_L = 0,64$.

Siguranța arderii, apreciată prin valoarea indicelui de retur al flăcării este dependentă de raportul vitezelor normale de propagare a arderii și de modificarea raportului aerului primar; se recomandă valori negative sau cel mult limitate superior la $I_F \leq 0,08$.

Referitor la indicii I_{NF} și I_{CO} (de apariție a funinginii în flacără, respectiv de formare a oxidului de carbon), valoarea acestora este determinată de ponderea atomilor de carbon, respectiv de hidrogen, eliberați de combustibil datorită descompunerii pirogenetice a hidrocarburilor în timpul arderii. Dacă valoarea acestor indici este nulă sau negativă nu apare pericol de formare a negrului de fum, respectiv a oxidului de carbon.

2. Rezultate și concluzii

În tabelul 1 sînt concentrate rezultatele calculelor privind compoziția și parametrii termodinamici ai amestecului de gaze combustibile pentru toate variantele luate în considerare. Calculele au fost efectuate în ipoteza funcționării cazanelor la debitul nominal cînd

Tabelul 1

Compoziția și parametrii termodinamici ai combustibilului

Nr. crt.	Denumirea	Simbolul	U.M.	Varianta								
				A	B	C_2	C_3	C_4	C_5	D_1	D_2	E
1	Participarea volumică a gazelor reziduale în amestec	—	%	100	85,04	48,40	33,77	26,00	21,11	18,182	9,33	0
2	Participarea volumică a gazului natural în amestec	—	%	0	14,96	51,60	66,23	74,00	78,89	81,818	90,67	100
3	Conținutul de hidrogen	$(H_2)_c$	%	25,60	21,77	12,39	8,645	6,656	5,404	4,655	2,388	—
4	metan	$(CH_4)_c$	%	0,57	14,37	48,15	61,647	68,813	73,322	76,022	84,186	92,79
5	etan	$(C_2H_6)_c$	%	1,17	1,76	3,20	3,779	4,085	4,278	4,394	4,742	5,11
6	etilenă	$(C_2H_4)_c$	%	16,66	14,17	8,06	5,626	4,331	3,517	3,029	1,554	—
7	butilenă	$(C_4H_4)_c$	%	9,40	7,99	4,55	3,174	2,444	1,984	1,709	0,877	—
8	propan	$(C_3H_8)_c$	%	—	0,11	0,38	0,485	0,542	0,577	0,599	0,664	0,732
9	oxid de carbon	$(CO)_c$	%	17,30	14,71	8,37	5,842	4,498	3,652	3,145	1,614	—
10	bioxid de carbon	$(CO_2)_c$	%									
11	azot	$(N_2)_c$	%	—	0,03	0,11	0,149	0,166	0,178	0,184	0,204	0,225
12	Numărul atomilor de C la 100 molecule de gaz	N	—	29,30	25,09	14,77	10,653	8,464	7,088	6,263	3,770	1,143
13	Numărul atomilor de H la 100 molecule de gaz	RN	—	72,33	93,26	98,49	100,60	101,71	102,41	102,83	104,09	105,43
14	Puterea calorifică	H_i	kJ/m³ **	186,34	233,06	308,26	338,33	354,29	364,32	370,34	388,52	407,67
15	Aerul minim	L_{min}	m³/m³ **	26521	28152	32050	33605	34432	34952	35264	36205	37198
16	Densitatea		kg/m³ **	6,332	6,860	8,154	8,670	8,945	9,117	9,221	9,533	9,863
17	Viteza normală maximă de propagare a frontului flăcării	U	cm/s	1,068	1,023	0,913	0,868	0,845	0,830	0,822	0,795	0,767
18	Debitul de combustibil	B_c	m³**/h	81,41	74,69	58,26	51,70	48,21	46,02	44,71	40,73	36,55
				800	940	1653	2369	3077	3789	4400	8573	—

consumul de gaze naturale a fost admis $B_1 = 712$ m³**/h la cazanele CR 16 A, respectiv $B_2 = 4173$ m³*/h la cazanele CR 12 C [2].

Compoziția medie a gazelor reziduale precizată în coloana a patra din tabelul 2 a fost admisă conform datelor furnizate de beneficiar. Pentru compoziția gazului natural au fost admise participările volumice precizate în ultima coloană a tabelului 1, ținînd seama și de injecțiile de gaze de sondă din zonă.

Puterea calorifică inferioară, aerul minim, densitatea amestecului de gaze combustibile și viteza normală maximă de propagare a frontului flăcării au fost calculate cu relațiile cunoscute [4, 7]:

$$H_i = 10760\ (H_2)_c + 35797\ (CH_4)_c + 64351\ (C_2H_6)_c + 59955\ (C_2H_4)_c + 93575\ (C_3H_8)_c + 113546\ (C_4H_8)_c + 12644\ (CO)_c\ [\text{kJ/m}^{3**}], \quad (7)$$

$$L_{min} = \frac{1}{0{,}21}\ [0{,}5(H_2)_c + 2(CH_4)_c + 3{,}5\ (C_2H_6)_c + 3\ (C_2H_4)_c + 5\ (C_3H_8)_c + 6\ (C_4H_8)_c + 0{,}5\ (CO)_c]\ \left[\frac{\text{m}^3}{\text{m}^3}\right]^{**}, \quad (8)$$

$$\rho = \sum \nu_i\ \rho_i\ [\text{kg/m}^{3**}] \quad (9)$$

$$U = \sum \nu_i\ U_i\ [\text{cm/s}], \quad (10)$$

Tabelul 2

Valorile indicilor pentru aprecierea interşanjabilităţii combustibililor gazoşi

Nr. crt.	Denumirea	Simbolul	U.M.	Varianta								
				A	B	C_2	C_3	C_4	C_5	D_1	D_2	E
	Indicii Weaver:											
1	— sarcina termică	I_H	—	0,605	0,655	0,7898	0,8489	0,8817	0,9030	0,9159	0,956	1,000
2	— aerul de ardere	I_A	—	0,544	0,6023	0,7578	0,8261	0,8639	0,8884	0,9032	0,9494	1,000
3	— ruperea flăcării	I_L	—	1,212	1,231	1,208	1,1684	1,1395	1,1180	1,1047	1,0580	1,000
4	— returul flăcării	I_F	—	1,866	1,610	0,933	0,6578	0,5096	0,4153	0,3586	0,1850	0,000
5	— formarea negrului de fum	I_{NF}	—	−0,7569	−0,508	−0,179	−0,1299	−0,1023	−0,0841	−0,0731	−0,0385	0,000
6	— formarea oxidului de carbon	I_{C_0}	—	−0,2573	−0,2413	−0,1534	−0,1121	−0,0887	−0,0730	−0,0638	−0,0339	0,000
7	Indicele Wobbe	Wo	—	25692	27834	33542	36070	37457	38365	38895	40605	42474
8	Raportul suprapresiunilor	$\Delta p_r/\Delta p$	—	2,733	2,3286	1,6035	1,3866	1,2858	1,2257	1,1925	1,0942	1,000
9	Suprapresiunea gazului de schimb după reglarea presiunii	Δp_2	mmH_2O	3553	3027	2085	1802	1672	1593	3578	3283	3000
10	Viteza amestecului aer-combustibil în secţiunea de ieşire a ambrazurii	W_{am}	m/s	20,49	26,28	26,97	27,25	27,31	27,37	27,67	25,56	— 25,42*
11	Viteza amestecului aer-combustibil în secţiunea inelară	W_{in}	m/s	29,64	38,01	39,01	39,41	39,50	39,59	46,04	42,53	— 42,28*

* pentru arzătorul cazanului CR 12 C

unde ν_i este participaţia componentelor din amestec.

Valorile vitezelor normale maxime U_i de propagare a frontului de flacără au fost admise conform [6]. Din lipsă de date s-a considerat că viteza de propagare a frontului de flacără a etanului şi butenei este egală cu cea a propanului, adică 38 cm/s.

În tabelul 2 sînt concentrate valorile indicilor Weaver în funcţie de concentraţia gazului natural în amestec cu gazele reziduale.

În acelaşi tabel sînt prezentate şi valorile indicelui Wobbe:

$$\mathrm{Wo} = \frac{H_i}{\sqrt{\rho}}. \qquad (11)$$

Relaţia de legătură dintre suprapresiunile Δp_1, respectiv Δp_2, secţiunile orificiilor de injecţie ale vînelor de gaz f_1, respectiv f_2 şi indicii Wo_1, respectiv Wo_2 ai gazului de bază şi ai celui de schimb, dedusă în ipoteza asigurării aceleiaşi sarcini termice, are forma [4]:

$$\frac{\Delta p_2}{\Delta p_1} = \left(\frac{\mathrm{Wo}_1}{\mathrm{Wo}_2}\right)^2 \left(\frac{f_1}{f_2}\right)^2. \qquad (12)$$

Dacă $\mathrm{Wo}_1 = \mathrm{Wo}_2$, interşanjabilitatea combustibililor gazoşi este posibilă fără nici o modificare constructivă sau funcţională a arzătorului.

În cazul cînd $\mathrm{Wo}_1 = \mathrm{Wo}_2$ interşanjabilitatea combustibililor gazoşi necesită, fie modificarea secţiunii orificiilor de injecţie a gazului, fie a suprapresiunii acestuia, fie a ambelor mărimi.

Dacă se admite condiţia $f_1 = f_2$, din (12) rezultă relaţia:

$$\Delta p_2 = \Delta p_1 \left(\frac{\mathrm{Wo}_1}{\mathrm{Wo}_2}\right)^2 \qquad (13)$$

cu care s-au calculat valorile suprapresiunii gazului combustibil de schimb în toate variantele luate în considerare. Conform documentaţiei arzătoarelor AGP−800/770 şi AG−1200/1100 cu care sînt echipate cazanele CR 16 A şi CR 12 C, valoarea suprapresiunii Δp_1 s-a considerat 1300 mmH_2O în primul caz şi 3000 mmH_2O în cel de-al doilea caz.

În ultimile două linii ale tabelului 2 sînt înscrise valorile vitezei amestecului aer-combustibil în secţiunea de ieşire a ambrazurii:

$$W_{am} = \frac{4(B_c + B_c L_{min} \lambda_f) \dfrac{t_{am} + 273}{273}}{3600\, \pi \cdot d_{am}^2} \left[\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right] \qquad (14)$$

respectiv în secţiunea inelară dintre stabilizatorul trunchi şi ambrazură:

$$W_{in} = \frac{4(B_c + B_c L_{min} \lambda_f) \dfrac{t_{am} + 273}{273}}{3600\, \pi\, (d_{am}^2 - d_d^2)} \left[\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right], \qquad (15)$$

în care :

B_c — este debitul de combustibil conform datelor din tabelul 1, în m³**/h ;

λ_f — coeficientul excesului de aer în focar ;

t_{am} — temperatura amestecului carburant, în °C, considerată egală cu cea a aerului preîncălzit ;

d_{am} și d_d — diametrul ambrazurii, respectiv al stabilizatorului trunchi, în m.

Valorile mărimilor constructive și funcționale care intră în relațiile (14) și (15) sînt prezentate în tabelul 3 și figura 1.

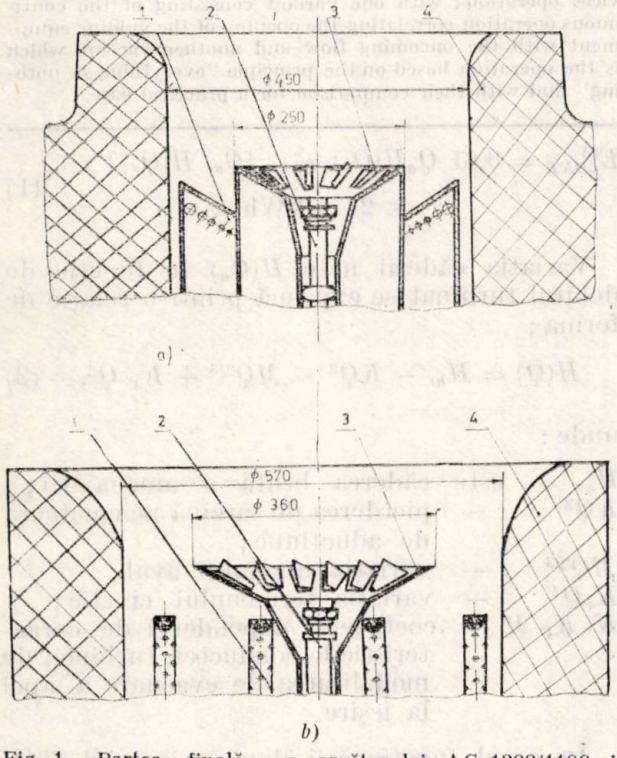


Fig. 1. Partea finală a arzătorului AG 1200/1100 și AGP 800/770 : a — arzător AGP 800/770 ; b — arzător AG 1200/1100 ; 1 — colector de gaz respectiv lance ; 2 — injector de păcură ; 3 — stabilizator trunchi ; 4 — ambrazură.

Din datele prezentate mai sus se desprind următoarele observații :

1. Cu excepția variantei D2, în toate celelalte cazuri indicii I_H și I_A au valori mai mici decît limita inferioară tolerată (0,94), ceea ce necesită creșterea presiunii gazului combustibil, respectiv a aerului, în scopul măririi debitelor acestora și atingerii sarcinii termice nominale.

2. Indicii I_L au valori pozitive supraunitare în toate cazurile, prin urmare nu există pericol de rupere a flăcării.

3. Indicii I_F au valori cu mult mai mari decît 0,08, ceea ce indică pericolul de retur al flăcării.

Tabelul 3

Valori pentru calculul vitezei amestecului de carburant în ambrazură

Tipul arzătorului	λ_f	t_{am} (°C)	d_{am} (mm)	d_d (mm)
AGP—800/770	1,2	200	450	250
AG—1200/1100	1,2	250	570	360

4. Indicii I_{NF} și I_{CO}, avînd valori negative în toate cazurile studiate, arată imposibilitatea formării funinginii sau a oxidului de carbon.

5. În ipoteza menținerii constante a secțiunii orificiilor de injecție a gazului combustibil ($f_1 = f_2$), pentru a se putea realiza sarcina termică nominală, raportul suprapresiunilor gazului variază în limite foarte largi, de la 2,733 la 1,0942, în funcție de varianta luată în considerare. În același raport este necesar să se mărească și suprapresiunea aerului, pentru a se asigura debitul necesar unei arderi corespunzătoare a combustibilului.

6. Din comparația vitezei amestecului carburant cu viteza maximă de propagare a frontului flăcării rezultă imposibilitatea pătrunderii acestuia în ambrazura arzătorului ($W_{am} > U$) ; chiar și la sarcina minimă a arzătoarelor, flacăra se stabilizează la gura ambrazurii.

Pe baza observațiilor de mai sus se apreciază că dintre toate variantele studiate cea mai avantajoasă este varianta D2, de injectare a gazelor reziduale recuperate în conducta de gaze naturale, care alimentează cazanele CR 12 C, variantă care necesită cele mai neînsemnate modificări și prezintă riscurile cele mai mici. De remarcat pericolul crescut de explozie și intoxicare în cazul scăpărilor de gaze reziduale datorită conținutului ridicat de hidrogen și oxid de carbon.

Bibliografie

[1] Weber, E.I. *Interchangeability of Fuel Gases.* Combustion Engineering Handbook, Chicago, 1977.

[2] Dutton, B. C. *Gimeevski — Gas interchangeability : prediction of flame lift.* În : Journal of the Institute of Energy, nr. 6, 1983.

[3] Wierzba, I., Korim, G.A. *Prediction of the lean flammability limit of fuel mixtures: a graphical approach.* In : Journal of the Institute of Energy, nr. 6, 1983.

[4] Ungurcanu, C. *Generatoare de abur pentru instalații energetice clasice și nucleare.* București, Editura Didactică și Pedagogică, 1977.

[5] Pănoiu, N. ș.a. *Instalații de ardere.* București, Editura Tehnică, 1968.

[6] * * * *Manualul inginerului chimist*, vol. V. București, Editura Tehnică, 1967.

[7] * * * *Manualul inginerului termotehnician*, vol. I. București, Editura Tehnică, 1986.

(Primit la 24 martie 1988, acceptat la 27 septembrie 1988

Probleme referitoare la exploatarea eficientă a microhidroagregatelor echipate cu turbine Francis orizontale

Ing. MIHAI TOMA *

Descriptori : microhidroagregrate

Prezentul articol își propune determinarea energiei obținute în cadrul exploatării microhidroagregatelor echipate cu turbine FO în varianta funcționării continue, corelînd deschiderea aparatului director cu debitul afluent și în varianta funcționării pe baza principiului „tot sau nimic", făcînd comparația între ele pentru un caz concret.

The report intends the determination of the energy obtained driving FO type turbines equipped microhydrodevices operation; with one variant consisting of the continuous operation correlating the opening of the guiding equipment with the oncoming flow and another variant which is the operation based on the principle "everything or nothing" and with their comparison for a practical case.

Introducere

Microhidroagregatele (MHA) care echipează MHC și CHEMP au fost concepute să funcționeze pe baza principiului „tot sau nimic" (TSN), avîndu-se în vedere exploatarea lor la randamente optime și simplificarea schemei de automatizare.

Acest fapt presupune operarea periodică a MHA, efectuîndu-se un număr de cicluri într-o zi, funcție de debitul afluent.

Maximizarea energiei obținute pe baza acestui principiu afectează MHA printr-un număr de porniri-opriri care au drept consecințe :
— suprapresiuni în conducta de aducțiune la pornire și oprire ;
— ambalări ale MHA la oprire ;
— solicitări dese ale instalațiilor electromecanice (REGMO, întrerupător).

Efectele acestor solicitări (spargeri ale conductei de aducțiune prin cedarea etanșărilor, distrugerea lagărelor) determină ca în practica exploatării MHC și CHEMP să se prefere funcționarea în regim continuu prin corelarea deschiderii aparatului director cu debitul afluent în așa fel încît nivelul în bazinul compensator să rămînă constant.

Acest mod de exploatare are drept consecință pierderi de energie, ca urmare a scăderii rapide cu debitul, a randamentului MHA.

Lucrarea de față își propune să analizeze modul de exploatare în cele două variante detaliind funcțiile de cîștig și pierdere pentru fiecare caz, avînd ca variabilă de intrare debitul afluent Q_a.

1. Relații de calcul pentru estimarea energiei produse

Se consideră debitul afluent constant într-o zi de funcționare (24 h). În cazul funcționării continue (CONT) energia obținută are expresia :

$$E^{24}_{CONT} = 9{,}81\ Q_a H(Q_a)\ \eta_{T+G}\ [Q_a,\ H(Q_a)] \times \times\ 24\ \text{h(kWh)}. \qquad (1)$$

Variația căderii nete $H(Q_a)$ în funcție de debitul turbinat se exprimă printr-o relație de forma :

$$H(Q) = H_{br} - KQ^2 - MQ^{2/3} + K_V\, Q^2, \qquad (2)$$

unde :

H_{br} este căderea brută a amenajării ;
KQ^2 — pierderea de sarcină pe conducta de aducțiune ;
$MQ^{2/3}$ — variația nivelului aval ;
K_VQ^2 — variația termenului cinetic ;
$K, K_V\ M$ — coeficienți dependenți de caracteristicile conductei, turbinei, de modalitatea de evacuare a apei la ieșire.

În cazul funcționării după principiul TSN energia obținută se determină pe baza analizei unui ciclu de funcționare.

Un ciclu de lucru are o durată t_c, compusă dintr-un timp de umplere t_u și un timp de funcționare t_f.

Timpul de umplere al bazinului compensator depinde de debitul afluent, debitul pierdut prin aparatul director (Q_{AD}) și de volumul bazinului (V), avînd expresia :

$$t_u = \frac{V}{Q_a - Q_{AD}}. \qquad (3)$$

Timpul de funcționare este o sumă de timpi parțiali

$$t_f = t'_p + t''_p + t_E + t'_0 + t''_0 = A + t_E, \qquad (4)$$

care au următoarele semnificații :

t'_p — timpul de pornire pînă MHA se cuplează la rețea ;

* Ing. Mihai Toma — Institutul de Cercetări și Modernizări Energetice București.

t''_p — timpul necesar ajungerii la regimul nominal;

t_A — timpul de exploatare în regim nominal;

t''_0 — timp de oprire pînă la limita de declanșare de la sistem;

t'_0 — timpul de oprire al MHA.

Durata $A = t'_p + t''_p + t''_0 + t'_0$ este o constantă dependentă de turbină și de regimul nominal impus acesteia, mai explicit de cursa aparatului director și viteza de închidere-deschidere a mecanismului REGMO.

Determinarea timpului de funcționare se face scriind ecuația de bilanț volumic pe amenajare:

$$\frac{Q_{AD} + Q_i}{2}(t'_p + t''_p) + Q_i \cdot t_E + \frac{Q_i + Q_{AD}}{2}(t'_0 + t''_0) = V + Q_a \cdot t_f. \tag{5}$$

Se constată că:

$\frac{Q_{AD} + Q_i}{2}(t'_p + t''_p) = V_p$ este volumul de apă necesar pornirii turbinei;

$\frac{Q_i + Q_{AD}}{2}(t'_0 + t''_0) = V_0$ este volumul de apă pierdut la oprirea turbinei.

Cu aceste notații $t_f = \frac{Q_i \cdot A + V - V_p - V_0}{Q_i - Q_a}$, (6)

rezultînd durata unui ciclu (t_c): $t_c = t_u + t_f$, iar numărul de cicluri într-o zi: $n = \frac{24}{t_c}$.

În funcție de numărul de cicluri și de energia produsă într-un ciclu se determină energia obținută în 24 ore:

$$E^{24}_{TSN} = nE^{ciclu}, \tag{9}$$

$$E^{ciclu} = 9{,}81\ Q_i H(Q_i)\ \eta_{T+G}[Q_i, H(Q_i)] \cdot t_E + 2E_{t''_p}, \tag{10}$$

unde $E_{t''_p}$ este energia produsă în timpii t''_p și t''_0 calculată cu relația:

$$E_{t''_p} = \int_{t'_p}^{t'''} 9{,}81\ Q(t)\ H(Q)\ \eta_{T+G}(Q, H)\ \mathrm{d}t = \text{const.} \tag{11}$$

Pe baza relațiilor (1) și (9) se calculează energia produsă în cele două variante și prin compararea lor se determină regimul optim de funcționare, la o anumită valoare a debitului afluent.

2. Exemplu de calcul — MHC Baru Mare

MHC Baru Mare este echipată cu o turbină de tip FO 125/640 avînd următoarele caracteristici:

— putere instalată — 440 kW;
— debit instalat — 0,9 m³/s;
— volumul bazinului compensator — 1700 m³.

Din măsurătorile efectuate s-a determinat:

a) $H(Q) = 68{,}5 - 5{,}853\ Q^2 - 0{,}348\ Q^{2/3} + 0{,}483\ Q^2$ (cf. rel.2)

Tabelul 1

Q_a [m³/s]	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
t_u [h]	1,72	1,26	1,0	0,82	0,7	0,61	0,54
t_f [h]	0,84	1,0	1,26	1,68	2,52	5,04	—
t_c [h]	2,56	2,26	2,26	2,5	3,22	5,65	—
n	9,37	10,62	10,62	9,6	7,45	4,25	—
t_E [h]	0,77	0,93	1,19	1,61	2,45	4,97	—
η_{T+G} [%]	32	45	56	67	77	79	81
H_n [m]	67,9	67,4	66,9	66,3	65,6	64,8	62,8
E^{24}_{TSN} [kWh]	3353	4563	5803	7057	8287	9537	—
E^{24}_{CONT} [kWh]	1535	2856	4410	6275	8324	9642	10950
$(E^{24}_{TSN} - E^{24}_{CONT})$ [kWh]	1818	1707	1393	782	−37	−105	—

b) $\eta_{T+G} = f(Q, H)$ conform tabelului;

c) $Q_{AD} = 0{,}026$ m³/s;

d) $t'_p = 32$ s; $t''_p = 100$s; $t''_0 = 100$ s; $t'_0 = 32$ s; $A = 264$ s.

Pe baza acestor date, în conformitate cu relaţiile (3) şi (6), rezultă:

$$t_u = \frac{1\,700}{Q_a - 0{,}026}, \quad (12)$$

$$t_f = \frac{1\,815}{0{,}9 - Q_a}, \quad (13)$$

iar conform relaţiei (11) $E_{t''_p} = 6{,}03$ kWh.

Luînd ca variabilă debitul afluent rezultă energia obţinută pentru fiecare din cele două variante conform tabelului 1.

Concluzii

Lucrarea oferă metodologia de calcul al energiei obţinute în cazul funcţionării MHA după principiul „tot sau nimic", ţinînd seama de pierderile de apă inerente acestuia (prin aparatul director, la pornire şi oprire) şi în cazul funcţionării în regim continuu. Necesitatea comparării celor două variante rezultă din faptul că în practica exploatării regimul continuu este preferenţial, avînd drept argument solicitarea redusă a MHA şi o creştere a căderii nete la debite mici, ca urmare a micşorării pierderilor de sarcină pe aducţiune.

Din analiza cazului prezentat ca exemplu rezultă că funcţionarea în regim continuu se poate adopta pentru debite afluente avînd valori mai mari de 75% Q_i.

O cunoaştere aprofundată a parametrilor de fiabilitate ai echipamentelor unui MHC, ar contribui în mod cert la mărirea gamei de debite afluente pentru care este optimă funcţionarea continuă.

Aceasta presupune observarea comportării în exploatare a MHC în vederea stabilirii indicatorilor de siguranţă, pentru a se putea corela disponibilitatea MHC cu numărul de cicluri pornire-oprire într-o anumită perioadă de timp.

Bibliografie

[1] Sfichi, R. *Funcţionarea microhidroagregatelor după principiul „tot sau nimic"*. În: Energetica, 32, iulie 1984, p. 328—332.

[2] Onea, D. *Aspecte privind reglarea turbinelor şi microturbinelor hidraulice*. În: Construcţia de maşini (35), 1983, p. 541—549.

[3] * * * *Verificarea performanţelor microhidroagregatului de tip FO 125/640 de la MHC Baru Mare*. ICEMENERG 1986.

(Primit la 14 iulie 1988, acceptat la 10 august 1988)

Aspcte privind verificarea „in situ" a performanţelor microhidroagregatelor dotate cu turbine tip EOS

Ing. ROMULUS VATAU, ing. MIHAI STOICAN, ing. PAUL DINESCU*

Descriptori: microhidroagregate

În articol se prezintă cîteva din rezultatele încercărilor realizate de ICEMENERG—LCH la amenajări hidroenergetice dotate cu turbine EOS. După o scurtă trecere în revistă a evoluţiei constructive a acestor maşini, articolul enumeră principalele metode utilizate.

Se dau în continuare cîteva dintre valorile parametrilor de interes care au atestat valoarea scontată în proiectare a acestor agregate. Se subliniază importanţa acordării în continuare a unei deosebite atenţii problemei realizării funcţionării fără personal a acestor amenajări.

În concluziile articolului se subliniază între altele necesitatea efectuării probelor „in situ" la acest fel de obiective, ceea ce conduce în final la valorificarea cu maximă eficienţă a potenţialului hidro disponibil.

The paper presents some of the tests results carried out by the Hydropower Research Laboratory of the Energy Research and Modernizing Institute — ICEMENERG at some hydropower plants equipped with EOS turbines. After a short review of the construction history of these machines the paper enumerates the main parameters surveyed within the tests as well as the main methods applied.

Some of the parameters values which had contributed to certify the quality required by the design of these facilities are given further. Another problem related to the operation without surveillance personnel of such plants is outlined as important.

In conclusion, the report underlines the necessity to carry out "in situ" tests with such plants since this would finally lead to a maximum efficiency harnessing of the hydropower potential.

Măsurătorile energetice efectuate în MHC-uri de către ICEMENERG în colaborare cu ISPH, CCSITEH, INCREST se încadrează în contextul eforturilor depuse pe plan naţional în vederea îmbunătăţirii continue a funcţionării amenajărilor hidroenergetice de mică putere (în anul 1990 puterea instalată în MHC şi CHEMP se prevede a ajunge la 600 MW).

* Ing. Romulus Vatau, ing. Mihai Stoican, ing. Paul Dinescu — Institutul de Cercetări şi Modernizări Energetice Bucureşti

Prima turbină de tip EOS a fost concepută în cursul anului 1977 și a fost destinată echipării microhidrocentralei Călinești-Oaș. Turbina are un diametru caracteristic de 1100 mm și este prevăzută pentru cuplarea cu generatorul plasat în amonte cu un cuplaj intermitent de supraturație și a unui multiplicator de turație. Turbina are aparat director cu palete fixe și un rotor de asemenea cu palete fixe, neexistînd posibilitatea de reglare a debitului turbinat.

Dintre toate amenajările ulterioare soluția de la Călinești s-a păstrat doar pentru MHC Belci, în celelalte centrale cuplarea turbinelor cu generatoarele făcîndu-se direct, întrucît între timp au fost asimilate generatoare din gama tipizată Reșița dimensionate la ambalare.

Gama tipizată de turbine hidraulice tip EOS în concepție CCSITEH Reșița cuprinde cinci tipodimensiuni, avînd diametrul rotorului de 1100 ; 900 ; 700 ; 500 ; 350 mm, fiind prevăzute pentru a acoperi un domeniu de căderi nete cuprins între 2,5 și 20 m și un domeniu de debite cuprins între 0,2 și 9 m³/s, asigurînd puteri între 15 și 1200 kW. Din punct de vedere constructiv turbinele EOS sînt realizate pentru reglarea debitului prin intermediul aparatului director, paletele rotorului fiind fixe. Reglarea poziției aparatului director se face prin intermediul unui mecanism de acționare electromecanic cu dispozitiv de tip REGMO.

Stabilirea parametrilor reali de funcționare a hidroagregatelor echipate cu turbine EOS 1100 s-a făcut prin măsurători energetice în cadrul a patru amenajări hidro, și anume, pentru gama netipizată la MHC Călinești-Oaș și MHC Belci, iar pentru gama tipizată performanțele s-au determinat la grupul nr. 2 din MHC Mănăstirea Dej și pe grupurile 1 și 2 din MHC Gilău I (Extindere).

În cadrul acestor măsurători s-a urmărit determinarea valorii următorilor parametri :

— pierderea de sarcină pe aducțiune (priză-intrare turbină) ;
— debitul absorbit de turbină ;
— căderea netă ;
— puterea activă la bornele generatorului ;
— randamentul global al hidroagregatului (turbină + generator).

În vederea furnizării datelor necesare omologării familiei de turbine EOS la MHC Mănăstirea Dej s-au executat și măsurători de vibrație la hidroagregatul nr. 2, vibrații transmise la clădire, precum și măsurări ale nivelului de zgomot.

Determinarea debitului turbinat s-a făcut cu metoda diluției la MHC Călinești-Oaș și MHC Belci. La MHC Mănăstirea Dej și MHC Gilău s-a folosit metoda măsurării vitezelor punctuale cu moriști hidrometrice.

Dintre rezultatele obținute la MHC Mănăstirea Dej amintim :

— randamentul global turbină + generator este de 78% la căderea netă $H_n = 4{,}46$ m și $P_g = 103{,}5$ kW pentru grupul 2 ;
— vibrațiile la hidroagregat, vibrațiile transmise la clădire și nivelul de zgomot sînt limite admisibile.

La MHC Gilău I s-a obținut :

— Grupul : 1 $\eta_{global} = 77{,}9\%$ la $H_n = 13{,}714$ m ; $P_g = 720$ kW ;

$$Q_{tb} = 6{,}866 \text{ m}^3/\text{s} ;$$

— Grupul 2 : $\eta_{global} = 74{,}3\%$ la $H_n = 13{,}503$ m ; $P_g = 682$ kW ;

$$Q_{tb} = 6{,}927 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Valoarea pierderilor de sarcină pe traseul priză-intrare turbină este de 1,202 m pentru grupul 1 ($Q_{tb} = 6{,}899$ m/s) și 1,724 m pentru grupul 2 ($Q_{tb} = 6{,}857$ m/s).

Rezultatele măsurătorilor de performanță efectuate de ICEMENERG-LCH la MHC Mănăstirea Dej și MHC Gilău-Extindere la hidroagregate dotate cu turbine tip EOS 1100 confirmă obținerea randamentelor scontate la acest tip de turbină.

Sistemul de comandă și control întîlnit în MHC-urile la care s-au executat măsurători nu este eficient, practic centralele neputînd funcționa fără personal de exploatare.

În vederea verificării sarcinilor piezometrice la care lucrează turbinele EOS este de dorit ca la montaj să se confecționeze prize de presiune statică amplasate în amonte de turbină, funcție de condițiile locale.

Concluzii

Lucrarea scoate în evidență necesitatea probelor „in situ" la microhidroagregate, după punerea în funcțiune a obiectivului. Ele urmăresc optimizarea funcționării și verificarea caracteristicilor grupurilor și a indicilor tehnico-economici din proiect. Pe lîngă performanțele turbinelor (comparativ cu topogramele de funcționare garantate de furnizorul echipamentului) în cadrul măsurătorilor energetice se elabo-

rează și curbele de consum $Q = Q(P)$ ale microhidroagregatelor. În acest mod se creează posibilitatea utilizării eficiente a stocului de apă disponibil.

Cu ocazia măsurătorilor de randament se determină și valoarea pierderilor de sarcină în prize, aducțiuni, conducte forțate, vane etc., obținîndu-se astfel date privind performanțele amenajărilor hidrotehnice și ale echipamentelor hidromecanice tipizate.

Ca material documentar pentru prezentul articol s-au folosit următoarele lucrări interne:

1. *Studiu privind completarea gamei de microhidroagregate cu noi tipuri în vederea acoperirii optime a întregului domeniu de căderi și debite* — Studiu CCSITEH Reșița.
2. *Verificarea performanțelor hidroagregatului de tip EOS 1100 de la MHC Mănăstirea Dej* — Lucrare ICEMENERG-LCH.
3. *Măsurarea vibrațiilor hidroagregatului, a vibrațiilor transmise la clădire și a nivelului de zgomot la MHC Mănăstirea Dej* — Lucrare ISPH, INCREST.
4. *Observații și măsurători în natură a MHC Gilău I* — Lucrare ISPH.
5. *Măsurători privind realizarea parametrilor proiectați la grupurile EOS 1100 din cadrul centralei Gilău (Extindere)* — Lucrare ICEMENERG-LCH.
6. *Microturbine hidraulice de tip EOS (1100, 900, 700, 500, 350)* — Caiet de sarcini general, redactare finală de către CCSITEH Reșița — Sectorul hidroagregate.

Bibliografie

[1] PE 306/83 — *Normativ cadru pentru proiectarea microhidrocentralelor.*

[2] STAS 8168—68 — *Turbine hidraulice — Încercări.*

(Primit la 22 iunie 1988, acceptat la 10 august 1988)

NOUTĂȚI

Manifestări programate

A VII-a sesiune de comunicări tehnico-științifice cu tema **„PRODUCEREA, TRANSPORTUL DISTRIBUȚIA ȘI UTILIZAREA RAȚIONALĂ A ENERGIEI"** ce se organizează bienal de IRE Suceava, va avea loc în luna mai 1989 la o dată ce urmează a fi comunicată, celor interesați, în timp util.

Alte detalii și precizări cu privire la organizarea și desfășurarea acestei manifestări se pot obține de la IRE Suceava—ing. R. Sfichi, tel. 987/20638.

Planificarea activităţilor de intervenţie în caz avarie la centralele nuclearoelectrice

Ing. GABRIEL ROMAŞCU, ing. IRINA NECHITOAIA, ing. MIOARA GUŢU*

Descriptori : centrale nuclearoelectrice, energie recuperabilă

CZ : 621.311.25 : 621.039.004.64

Practica de exploatare a CNE a arătat că sînt necesare şi o serie de măsuri organizatorice adoptate atît pe teritoriul CNE, cît şi în zona adiacentă, astfel încît în cazul unor incidente în centrală să se asigure toate condiţiile pentru prevenirea eliberării de radioactivitate în mediu.

Materialul prezintă :

— obiectivele planificării activităţilor de intervenţie la avarie ;

— modul de structurare a planului general şi a planurilor specifice de intervenţie la avarie ;

— tipurile de intervenţie la avarie şi grupurile specializate ce participă la aceasta, atît pe teritoriul centralei, cît şi în afara acesteia ;

— interfaţa între grupurile ce acţionează în interiorul centralei şi organizaţiile ce le sprijină din afară.

Pentru exemplificare, se prezintă modul de organizare a intervenţiei la avarie pentru CNE Point Lepreau (Canada), cu participarea companiei Ontario Hydro şi a forurilor guvernamentale.

The practical operation of nuclear power plants has shown that a series of organisational measures on the plant site as well as in the adjacent area are necessar, thus that in case of accidents any radioactive contamination of the environment should be avoided.

The paper presents :

— planning objectives for accident intervention activities ;

— the manner of general and specific accidents intervention activities plans ;

— accident intervention activities types and specialized operation teams on site as well as in its vicinity ;

— interface between the team acting inside the plant and the organizations helping from the outside.

As an example, the organizing of activities in case of accidents from the Nuclear Power Plant Point Lepreau (Canada) with the participation of the Ontario Hydro Company and of the Government organizations is shown.

Realizarea unei centrale nuclearoelectrice impune aplicarea unor măsuri în vederea evitării evacuărilor periculoase de radioactivitate în mediul ambiant. Aceste măsuri se referă atît la instalaţiile tehnologice propriu-zise, cît şi la prevederea unor sisteme de securitate şi a unor bariere de protecţie.

Practica de exploatare a CNE a arătat că sînt necesare măsuri organizatorice adoptate atît pentru teritoriul CNE, cît şi pentru zona adiacentă, astfel încît în cazul unor incidente în centrală să se asigure toate condiţiile pentru prevenirea eliberării de radioactivitate în mediul ambiant (fig. 1), precum şi pentru prevenirea contaminării populaţiei şi mediului ambiant.

Obiectivele planificării activităţii de intervenţie sînt :

— atenuarea consecinţelor avariei ;

— să ofere certitudinea că vor fi luate toate măsurile necesare în scopul protejării sănătăţii personalului şi populaţiei.

Această planificare este parte componentă a procesului de autorizare a centralei nucleare. În alcătuirea acestei planificări se pleacă de la ideea că o avarie a CNE poate duce la eliberarea de radioactivitate, ceea ce necesită luarea

- Avertizarea şi evacuarea populaţiei către punctele de întrunire dinainte stabilite
- Evaluarea nivelului şi stabilirea măsurilor pentru protejarea publicului şi personalului centralei
- Luarea de măsuri în cadrul centralei pentru menţinerea sub control a avariei şi organizarea în afara centralei a unui centru de asistenţă tehnică şi a unui centru de informare a publicului
- Rapida înştiinţare a tuturor celor ce iau parte la acţiunile de remediere necesare în urma avariei
- Convocarea şi începerea lucrului cu echipe specializate în probleme de : stingerea incendiilor, salvare şi prim ajutor, supravegherea nivelului de radiaţii, localizarea şi repararea componentelor avariate
- Oferirea de informaţii de specialitate către miliţie, autorităţi locale şi către alteor ganizaţii responsabile cu securitatea publicului
- Înregistrarea corectă a evenimentelor pentru studii ulterioare

Fig. 1. Acţiuni implicate de activitatea de intervenţie în caz de avarie în Anglia.

* Ing. Gabriel Romaşcu, ing. Irina Nechitoaia, ing. Mioara Guţu — Institutul de Studii şi Proiectări Energetice, Bucureşti

de măsuri urgente atît în centrală, cît și în afara ei. Astfel, planurile activităților de intervenție trebuie să includă (fig. 2):

— planificarea activităților de intervenție desfășurate de personalul centralei;

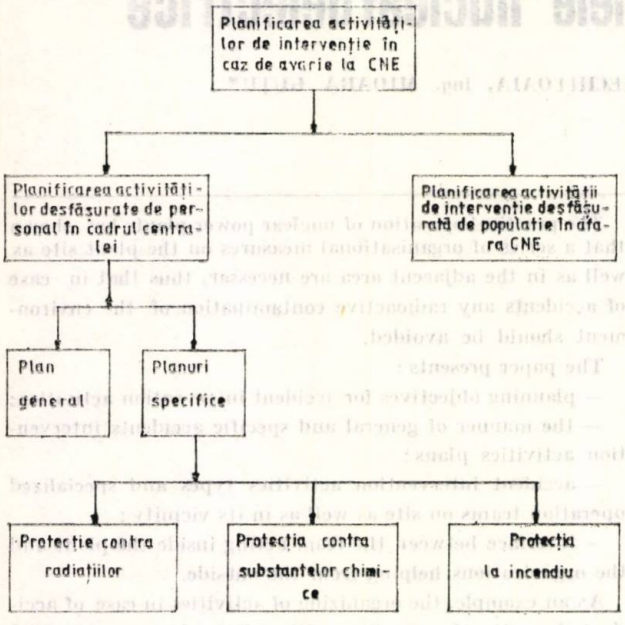


Fig. 2. Planificarea activităților de intervenție în caz de avarie la CNE.

— planificarea activităților de intervenție desfășurate de populație în afara centralei.

În cele de mai jos se redau cîteva aspecte mai importante, așa cum rezultă ele din publicațiile de specialitate, pe baza experienței din alte țări.

2. Planificarea acțiunilor de intervenție în cadrul CNE

2.1. Tipuri de planuri de acțiuni

Planificarea acțiunilor în CNE are în vedere diverse tipuri de avarii care pot afecta sănătatea și securitatea personalului și populației. Pentru a satisface cerințele impuse, planurile privind activitățile de intervenție desfășurate de personal în centrală cuprind (fig. 2):

— planul general;

— planurile specifice.

2.1.1. Planul general definește organizarea, responsabilitățile și măsurile pregătitoare luate pentru a asigura o intervenție eficientă la avarie.

Aceasta include și clasificarea pe niveluri de intervenție.

2.1.2. Planurile specifice se referă la asigurarea protecției contra radiațiilor, substanțelor chimice și incendiilor, precum și la protecția medicală. Acestea se întocmesc pentru fiecare tip de avarie în parte și suplimentează planul general, descriind acțiunile și soluțiile specifice respectivului tip de avarie.

Planurile specifice folosesc schemele de organizare și intervenție ale planului general.

Planurile specifice stabilesc responsabilitățile și strategiile de intervenție detaliate și specifice.

Fiecare plan specific dă indicații pentru alegerea nivelului de intervenție necesar (în alertă sau de urgență) funcție de gravitatea avariei.

Pe lîngă sistemele prevăzute prin proiect în scopul ameliorării efectelor avariei (de exemplu: anvelopă, sistem de detectare și stingere a incendiilor, digurile ce înconjoară depozitele de substanțe chimice periculoase etc.), planurile specifice prevăd echipamente și furnituri suplimentare cu același scop amplasate astfel încît să fie oricînd disponibile.

Planurile specifice includ, de asemenea, modul de utilizare a resurselor din afara centralei asigurate de organizațiile locale de asistență medicală (inclusiv ambulanțe), serviciile pompierilor, serviciile miliției; condițiile de asigurare cu astfel de servicii se stabilesc de multe ori pe bază de contract, instituțiile respective stabilindu-și, funcție de aceasta, planurile interne.

2.2. Tipurile de intervenții

Gravitatea și extinderea avariei va impune nivelul de intervenție cerut: intervenție în alertă sau intervenție de urgență.

2.2.1. Intervenția în alertă se organizează în cazul unei avarii ce poate fi controlată de echipa de intervenție, ajutată, dacă este cazul, de alte persoane calificate care lucrează în tură.

Șeful de tură este cel care decide dacă este necesară o intervenție în alertă; imediat se va da alarma, precizîndu-se locul incidentului. Restul personalului va continua să-și îndeplinească sarcinile obișnuite de serviciu. Șeful echipei de intervenție raportează șefului de tură și împreună decid măsurile ce se dovedesc necesare. Intervenția se desfășoară conform planurilor și procedurilor din planul specific de intervenție la avarie. Apelurile pentru obținerea de asistență vor fi făcute conform directivelor șefului de tură.

În cazul avariilor mai periculoase este necesară cererea în scris a intervenției și asistență asigurată de factorii din afara centralei.

2.2.2. Intervenția de urgență se organizează atunci cînd șeful de tură consideră necesar acest lucru; se dă alarma și un anunț. Tot personalul se repartizează pe locurile de muncă prestabilite pentru avarie. Echipa de intervenție acționează conform anunțului și planurilor specifice respective pentru a identifica și controla avaria; șeful de tură va face

modificările de rigoare, va primi rapoarte privind evidența personalului și va coordona orice inspecție cerută în afara centralei.

Șeful de tură poartă întreaga responsabilitate pentru activitățile desfășurate în timpul intervenției.

Intervenția personalului de tură poate fi suplimentată de un grup de asistență, un grup de consilieri tehnici, sau alți membri desemnați ai personalului, funcție de natura și gravitatea avariei.

2.3. Grupurile participante la intervenție

Grupurile ce participă la intervenție sînt (fig. 3):

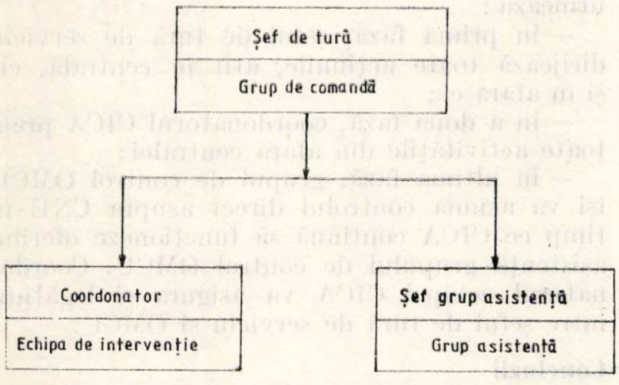


Fig. 3. Schema de organizare pentru intervenția în alertă.

2.3.1. Grupul de comandă. Indiferent de avarie, șeful de tură este coordonatorul principal. El este șeful grupului de comandă. Grupul de comandă sprijină șeful de tură în asigurarea directivelor acestuia. Din grupul de comandă mai face parte operatorul din camera de comandă.

2.3.2. Grupul de asistență este compus din personal al centralei care nu lucrează în tură și care are calificarea cerută. Componența grupului de asistență este sarcina șefului grupului de comandă. Șeful grupului de asistență este desemnat de către șeful grupei de întreținere. Grupa de asistență poate fi utilizată funcție de decizia șefului de tură, atît la intervenția în alertă, cît și la intervenția de urgență.

2.3.3. Echipa de intervenție este formată din personal de tură special calificat pentru intervenția în cele mai diferite cazuri de avarie. Pregătirea lor include cunoștințe complete de: prim ajutor, protecție chimică, stingerea incendiilor etc. Componența echipei de intervenție este desemnată la începutul fiecărui schimb de operatorul șef, la fața locului, care va fi șeful echipei de intervenție. Ceilalți membri ai turei vor fi disponibili pentru a îndeplini sarcinile trasate de șeful echipei de intervenție. Echipa de intervenție se alcătuiește automat atunci cînd este necesară o intervenție în alertă sau una de urgență.

2.3.4. Grupul de consilieri tehnici se formează numai în cazul unei intervenții de urgență (fig. 4) cu scopul de a oferi asistență tehnică șefului de tură. Este format din: directorul tehnic, șeful grupului de exploatare, medicul care se ocupă cu probleme de sănătate în centrală.

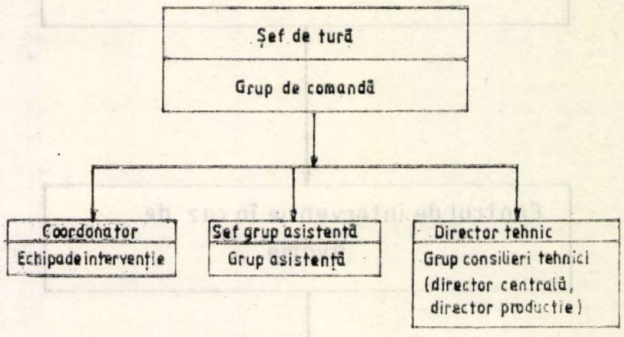


Fig. 4. Schema de organizare pentru intervenția de urgență.

Dacă timpul le permite, directorul de producție și șeful grupului de întreținere fac și ei parte din grupul de consilieri tehnici. Directorul tehnic este conducătorul acestui grup. Șeful de tură va informa în scris directorul tehnic, care mobilizează restul grupului; grupul se întrunește în biroul șefului de tură.

3. Planificarea activităților în afara CNE

Pentru activitățile desfășurate în afara centralei nucleare este necesară cooperarea între centrală și departamentele de toate nivelurile: guvernamentale, județene, municipale. Aceste activități se desfășoară conform unei planificări făcute de o organizație specializată ce elaborează măsuri în caz de urgență (OMCU) și care trebuie să descrie resursele și procedurile capabile să ofere populației protecție la radiații.

3.1. Echipa centrului de intervenție în caz de avarie din afara centralei

Echipa acestui centru este compusă din personalul care nu lucrează în ture și care a fost special pregătit să asigure și să exploateze centrul de intervenție în situație de avarie, în cazul în care acesta trebuie să fie în funcțiune în timpul unei avarii.

Rolul echipei este de a asigura legătura între centrală și organizația ce elaborează măsuri în caz de urgență, precum și execuția și coordonarea supravegherii radioactivității mediului. Echipa este condusă de coordonatorul centrului de intervenție în caz de avarie, care este în contact cu grupul de comandă. Toți ceilalți membri ai echipei sînt în contact cu șeful grupului de întreținere.

3.2. Cooperarea cu personalul CNE

Între organizaţia care elaborează măsuri în caz de urgenţă (OMCU) şi grupul de comandă din CNE există o strînsă colaborare (fig. 5).

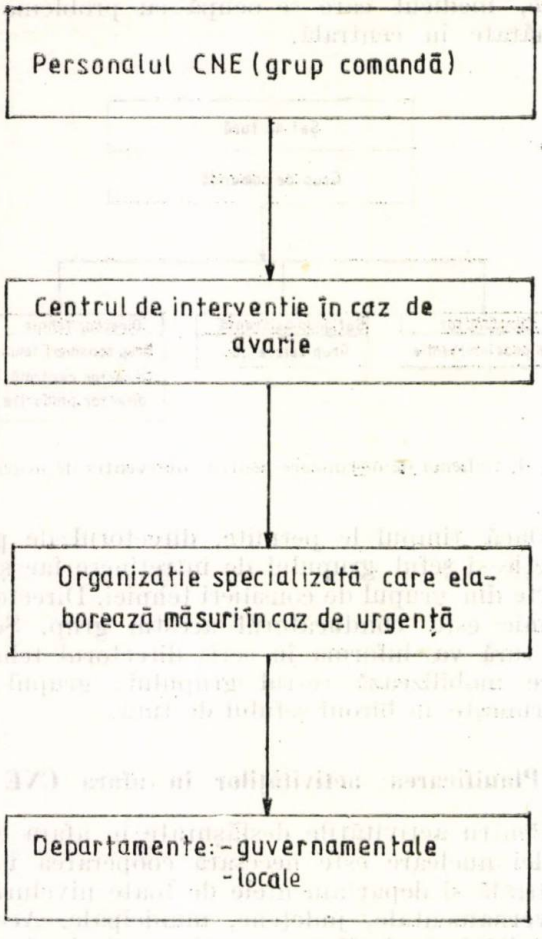


Fig. 5. Fluxul informaţional în cadrul planificării activităţii desfăşurate de populaţie în afara centralei, în cooperare cu personalul centralei.

Personalul centralei are responsabilităţi suplimentare pentru asigurarea acestei colaborări; astfel, acesta trebuie, printre altele:

— să anunţe OMCU dacă o avarie produsă în CNE ameninţă să pună în pericol publicul;

— să facă controlul radiaţiilor în imediata apropiere a CNE, în cazul în care avaria afectează mediul; rezultatul acestor controale trebuie comunicat la OMCU;

— să pună în funcţiune sistemele de alarmă din jurul centralei, la cererea OMCU.

Pentru preluarea acestor responsabilităţi se poate institui un centru de intervenţie în caz de avarie (CICA) în afara centralei care, amplasat la circa 10—15 km de centrală, poate servi drept centru de comunicaţii şi coordonare pentru toate activităţile efectuate de personalul centralei, în scopul sprijinirii punerii în practică a planului de intervenţie în afara centralei.

Planul de intervenţie la avarie în centrală stabileşte timpul necesar adunării echipei centrului de intervenţie în caz de avarie şi a grupului de control (OMCU), astfel încît responsabilităţile sînt împărţite în timp după cum urmează:

— în prima fază, şeful de tură de serviciu dirijează toate acţiunile, atît în centrală, cît şi în afara ei;

— în a doua fază, coordonatorul CICA preia toate activităţile din afara centralei;

— în ultima fază, grupul de control OMCU îşi va asuma controlul direct asupra CNE în timp ce CICA continuă să funcţioneze oferind asistenţă grupului de control OMCU. Coordonatorul echipei CICA va asigura şi legătura între şeful de tură de serviciu şi OMCU.

Concluzii

Cele prezentate mai sus permit constatarea că planificarea acţiunilor de intervenţie la avarie în CNE constituie o activitate deosebit de importantă, ce depăşeşte sfera CNE şi implică o colaborare perfectă între diferite organizaţii, a căror coordonare trebuie făcută la un nivel corespunzător.

Este evident că modul de organizare concret al acestei activităţi trebuie adaptat la condiţiile specifice ale fiecărei ţări în parte, asigurînd toate măsurile pentru protecţia populaţiei şi a mediului ambiant.

Bibliografie

[1] Weeks, D. F. *On-site Contingency Planning at Point Lepreau NGS.* New Brunswick Electric Power Commission Point Lepreau Generating Station.

[2] Conway, A. *Preparing for the Worst.* In: Modern Power Systems, aug. 1988.

(Primit la 12 mai 1988, acceptat la 26 mai 1988)

Calculul luminanței suprafețelor reflectante interioare prin metoda coeficientului de luminanță

As. ing. GABRIEL CHIRIȚĂ, analist BOGDAN BORESCHIEVICI*

Descriptori : iluminat electric, luminanță

Fundamentată pe baza cerințelor structurii conceptuale moderne a iluminatului, lucrarea aduce contribuții originale în domeniul trecerii calculului iluminatului interior de pe baza iluminării pe baza luminanței, introducînd în țara noastră calculul luminanței suprafețelor reflectante interioare în funcție de coeficienții de luminanță. Lucrarea este finalizată prin calculul automat al coeficienților de luminanță ai corpurilor de iluminat de fabricație curentă românească.

Principalele avantaje ale metodei coeficientului de luminanță sînt determinate de rapiditatea și simplitatea cu care aceasta poate fi aplicată în calculele curente de proiectare a sistemelor de iluminat, precum și de precizia deosebit de ridicată a rezultatelor.

Based on the modern structure concept requirement regarding lighting, the paper presents original contributions in the field of changing the calculations of the interior lighting based on illumination on those ones of the interior lighting based on luminance, introducing in our country the luminance calculation of internal reflecting surfaces depending on the luminance coefficient. Finally, the automatic luminance coefficients computation for the Romanian current lighting lumin ires is presented.

The main advantages of the luminance coefficient method are determined by the speed and simplicity of its application in current lighting devices design computations as well as the high precision of the results.

1. Oportunitatea introducerii calculului în funcție de luminanță

Implementarea luminanței ca mărime de referință în iluminatul interior [1] soluționează una dintre cele mai importante probleme ale structurii conceptuale moderne a iluminatului formulate în [2], și anume, conexiunea dintre parametrii calitativi și cei cantitativi ai sistemelor de iluminat.

Astfel, proiectarea unui sistem de iluminat se poate desfășura în prezent pe baza luminanței, pornind de la factorii calitativi (subiectivi) către soluția fotometrică, ceea ce reprezintă calea inversă în raport cu procedura tradițională.

Această abordare modernă [3] necesită dezvoltarea unui aparat adecvat de calcul, care să permită determinarea rapidă și cu precizie ridicată a luminanței suprafețelor reflectante interioare (pereți, plafon, plan util).

2. Stadiul actual al metodelor de calcul

Stadiul actual al metodelor aplicate în calculul iluminatului interior este prezentat în figura 1, comparativ cu cel modern, determinat de introducerea luminanței ca mărime de referință.

Atît în țară, cît și în străinătate, metodele uzuale de calcul permit în prezent calculul iluminării medii pe planul util (orizontal) [4] sau pe planul util, pereți și plafon [5, 6, 7].

Cu o bună aproximație, suprafețele pereților plafonului și în cele mai multe cazuri ale planului util, pot fi considerate lambertiene (perfect difuzante). Prin urmare, luminanța medie a acestor suprafețe se poate determina prin calcul indirect, în funcție de iluminarea lor medie, cu relația

$$L = \frac{\rho}{\pi} E, \qquad (1)$$

unde :

ρ este coeficientul mediu de reflexie ;

E — iluminarea medie a suprafeței perfect difuzante, calculată cu una din metodele amintite mai sus.

În special în cazul peretelui, numeroase zone ale acestuia au luminanțe diferite de valoarea medie, datorită valorilor diferite ale coeficientului de reflexie. Luminanța reală a acestor zone se poate determina aplicînd o corecție de forma :

$$L_k = L \frac{\rho_k}{\rho}, \qquad (2)$$

în care :

L_k este valoarea corectată a luminanței unei zone k de pe suprafața peretelui ;

ρ_k — coeficientul de reflexie al zonei k ;

ρ — coeficientul mediu de reflexie al peretelui.

* As. ing. Gabriel Chiriță, analist Bogdan Boreschievici — Institutul de Construcții București.

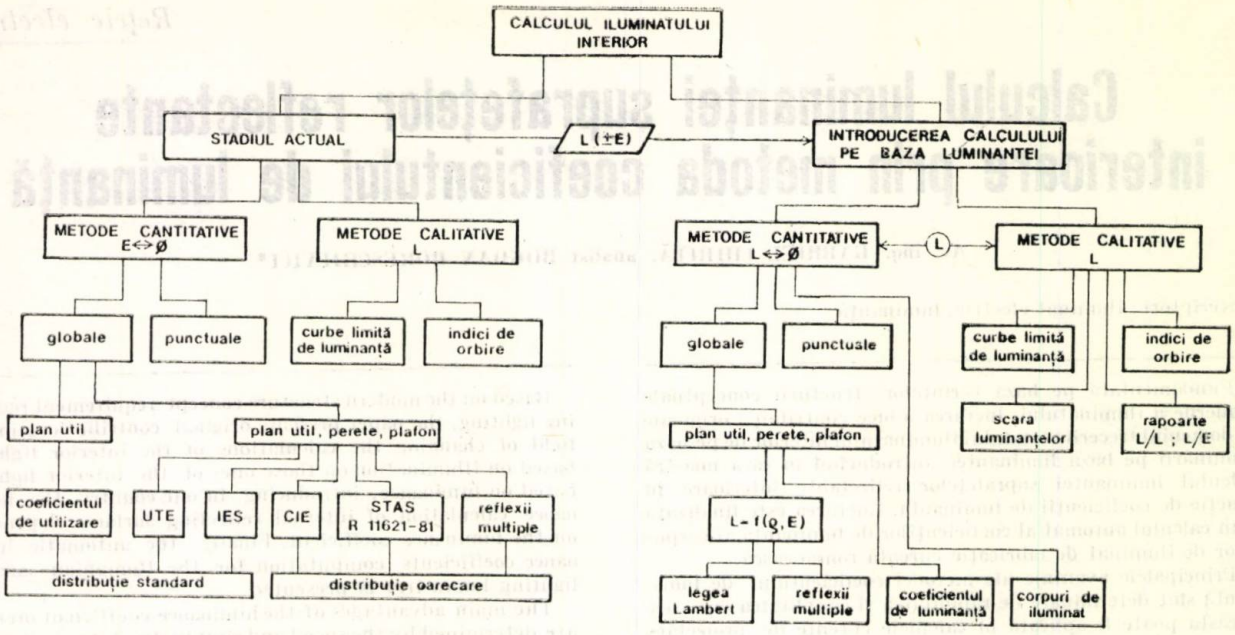


Fig. 1

Pe lîngă faptul că permit numai calculul indirect al luminanței, aceste metode prezintă dezavantajul unei manevrabilități greoaie, întrucît operează cu un număr mare de relații de calcul și un volum mare de date.

În țara noastră, singura metodă care permite calculul iluminării medii pe planul util, pereți și plafon este metoda din STAS 11621-81 [7]. Aceasta constituie o preluare a metodei CIE [6], fără o adaptare prealabilă la particularitățile sistemelor de iluminat practicate în țară, ceea ce justifică introducerea ei cu caracter de recomandare și nu de normă. De altfel, cercetările experimentale efectuate pe modele fizice de iluminat [8] au confirmat imprecizia rezultatelor obținute prin aplicarea acestei metode.

Toate inconvenientele semnalate mai sus pot fi eliminate prin abordarea calculului luminanței suprafețelor reflectante prin metoda cavităților zonale, elaborată de IES [9]. Metoda este recunoscută pe plan internațional [8, 10] pentru precizia ridicată a rezultatelor, iar datorită simplității, ea poate fi aplicată cu rapiditate în calculele curente de proiectare.

Metoda ia în considerare trei cavități ale încăperii, prezentate în figura 2, și permite calculul iluminării medii pe planul util — pe baza coeficienților de utilizare, și totodată a luminanței medii a peretelui și plafonului — pe baza coeficienților de luminanță.

Iluminarea medie pe planul util se determină cu relația :

$$E = \frac{\Phi}{kS}\, u \ [\mathrm{lx}], \tag{3}$$

unde :

E este iluminarea medie ;
Φ — fluxul luminos total al lămpilor ;
k — factorul de menținere a fluxului luminos ;
S — suprafața planului util ;
u — coeficientul de utilizare.

Luminanța medie a peretelui L_p și plafonului L_t se determină prin simpla substituire în relația (3) a coeficientului de utilizare cu valoarea coeficientului de luminanță al cavității încăperii l_p sau respectiv al cavității plafonului l_t. Astfel,

$$L_p = \frac{\Phi}{kS}\, l_p \ [\mathrm{cd/m^2}], \tag{4}$$

iar

$$L_t = \frac{\Phi}{kS}\, l_t \ [\mathrm{cd/m^2}]. \tag{5}$$

Similar cu coeficienții de utilizare, coeficienții de luminanță sînt precalculați și prezentați în formă tabelară pentru diverse clase de corpuri de iluminat, considerate ca reprezentative din punctul de vedere al distribuției spațiale a intensității luminoase [9]. Coeficienții de luminanță sînt dați în funcție de indicele cavității și de caracteristicile reflectante ale acesteia (vezi fig. 2).

Indicii cavităților se determină după cum urmează :

— pentru cavitatea încăperii :

$$i = \frac{5h(L + l)}{L \cdot l}, \tag{6}$$

unde :

h este înălțimea liberă a corpurilor de iluminat deasupra planului util ;

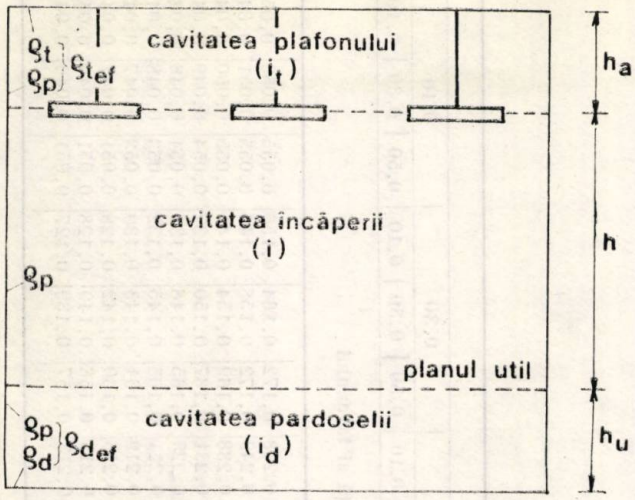


Fig. 2

L — lungimea încăperii;
l — lățimea încăperii;
— pentru cavitatea plafonului:

$$i_t = i\,\frac{h_a}{h}, \tag{7}$$

unde h_a este înălțimea de suspendare a corpurilor de iluminat;
— pentru cavitatea pardoselii:

$$i_d = i\,\frac{h_u}{h}, \tag{8}$$

unde h_u este înălțimea planului util.

Coeficienții de reflexie din figura 2 au următoarele semnificații: ρ_t, ρ_p, ρ_d sînt coeficienții de reflexie ai plafonului, peretelui și pardoselii; $\rho_{t_{ef}}$, $\rho_{d_{ef}}$ sînt coeficientul defectiv de reflexie al cavității plafonului și, respectiv, al cavității pardoselii (ei reprezintă o mediere a combinației dintre ρ_t și ρ_p și, respectiv, dintre ρ_d și ρ_p).

3. Calculul coeficienților de luminanță pentru corpurile de iluminat de fabricație românească

Datorită avantajelor deosebite pe care le prezintă calculul luminanței suprafețelor reflectante prin metoda coeficientului de luminanță, s-a supus studiului teoretic și experimental [8] posibilitatea preluării coeficienților de luminanță dați în [9] și aplicării lor la calculul cu corpuri de iluminat de fabricație românească. Rezultatele experimentale au confirmat că preluarea acestor coeficienți este posibilă, și că utilizarea lor conduce la rezultate deosebit de exacte ale luminanței numai în condițiile în care curba de distribuție a corpului de iluminat românesc este foarte asemănătoare, dacă nu identică, cu cea a uneia dintre clasele reprezentative de corpuri de iluminat pentru care metoda cavităților zonale indică valorile coeficienților

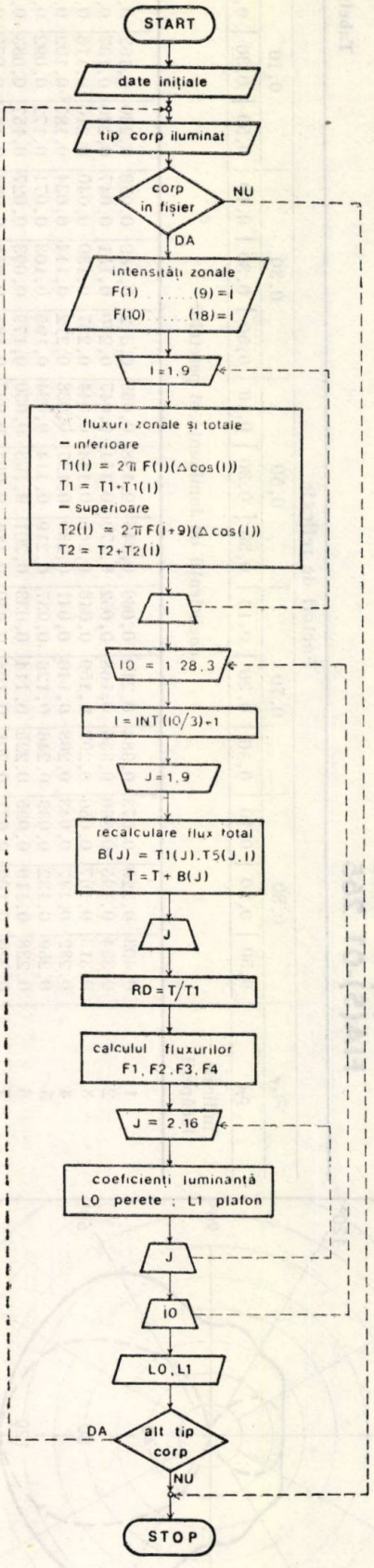
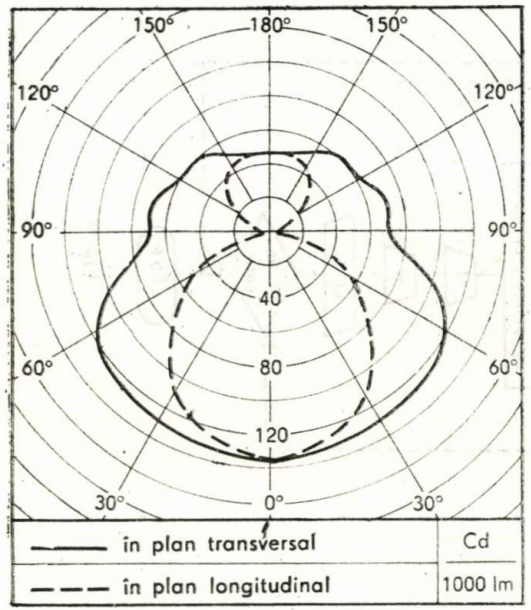


Fig. 3



FIA(S)-01 220
FIA(S)-01 240
FIA(S)-01 265

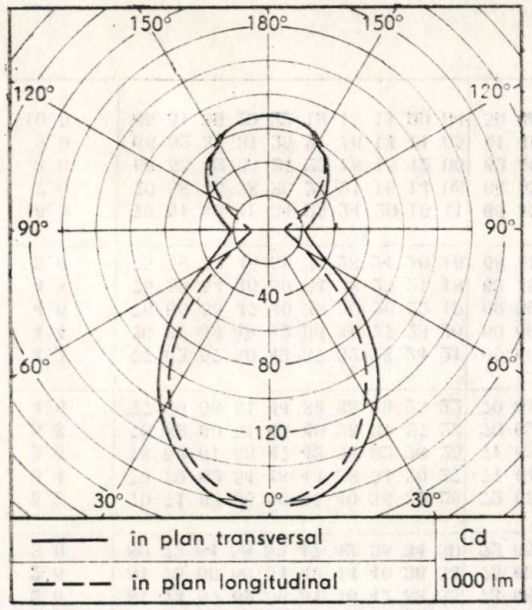
Tabelul 1

Factori de reflexie

ρt_{ef}	0,80			0,70			0,50			0,30			0,10		
ρ_p	0,50	0,30	0,10	0,50	0,30	0,10	0,50	0,30	0,10	0,50	0,30	0,10	0,50	0,30	0,10
indicele încăperii	coeficienţii de luminanţă ai peretelui														
1	0,403	0,229	0,073	0,384	0,219	0,069	0,346	0,198	0,063	0,312	0,180	0,058	0,280	0,162	0,053
2	0,354	0,195	0,060	0,336	0,168	0,052	0,270	0,151	0,047	0,270	0,151	0,047	0,240	0,137	0,043
3	0,313	0,167	0,050	0,297	0,159	0,048	0,265	0,144	0,044	0,237	0,130	0,040	0,210	0,116	0,036
4	0,282	0,147	0,043	0,268	0,140	0,041	0,239	0,127	0,038	0,212	0,114	0,034	0,187	0,102	0,031
5	0,259	0,132	0,039	0,246	0,126	0,037	0,219	0,114	0,034	0,195	0,103	0,071	0,172	0,092	0,027
6	0,238	0,119	0,035	0,225	0,114	0,033	0,201	0,103	0,030	0,179	0,093	0,027	0,157	0,083	0,025
7	0,220	0,109	0,031	0,208	0,104	0,030	0,186	0,094	0,027	0,165	0,055	0,024	0,145	0,075	0,022
8	0,205	0,100	0,028	0,194	0,095	0,027	0,173	0,087	0,025	0,153	0,077	0,023	0,135	0,070	0,020
9	0,192	0,093	0,026	0,182	0,088	0,025	0,162	0,080	0,023	0,144	0,072	0,021	0,127	0,064	0,019
10	0,179	0,086	0,024	0,170	0,082	0,023	0,152	0,074	0,021	0,135	0,067	0,019	0,119	0,060	0,017

Factori de reflexie

ρt_{ef}	0,80			0,70			0,50			0,30			0,10		
ρ_p	0,50	0,30	0,10	0,50	0,30	0,10	0,50	0,30	0,10	0,50	0,30	0,10	0,50	0,30	0,10
indicele încăperii	coeficienţii de luminanţă ai tavanului														
1	0,511	0,480	0,452	0,437	0,412	0,388	0,299	0,283	0,268	0,172	0,164	0,156	0,055	0,053	0,051
2	0,506	0,456	0,414	0,433	0,393	0,358	0,297	0,271	0,249	0,172	0,158	0,146	0,055	0,051	0,048
3	0,497	0,438	0,393	0,426	0,378	0,340	0,292	0,263	0,238	0,169	0,154	0,141	0,055	0,050	0,046
4	0,490	0,425	0,377	0,419	0,367	0,328	0,273	0,256	0,231	0,167	0,150	0,137	0,054	0,049	0,045
5	0,482	0,415	0,366	0,414	0,359	0,318	0,285	0,251	0,225	0,165	0,148	0,134	0,054	0,048	0,044
6	0,474	0,408	0,359	0,409	0,353	0,313	0,281	0,247	0,221	0,163	0,145	0,132	0,053	0,048	0,044
7	0,467	0,401	0,526	0,401	0,347	0,308	0,278	0,239	0,219	0,161	0,143	0,130	0,053	0,047	0,043
8	0,461	0,395	0,350	0,397	0,337	0,305	0,275	0,241	0,216	0,160	0,142	0,129	0,051	0,047	0,043
9	0,448	0,390	0,347	0,391	0,339	0,302	0,271	0,238	0,215	0,158	0,140	0,128	0,051	0,046	0,042
10	0,448	0,385	0,345	0,387	0,335	0,300	0,269	0,236	0,213	0,157	0,139	0,127	0,051	0,046	0,042



FIAG(S)-01 220
FIAG(S)-01 240
FIAG(S)-01 265

	Factori de reflexie														
ρt_{ef}	0,80			0,70			0,50			0,30			0,10		
ρ_p	0,50	0,30	0,10	0,50	0,30	0,10	0,50	0,30	0,10	0,50	0,30	0,10	0,50	0,30	0,10
indicele încăperii	coeficienţii de luminanţă ai peretelui														
1	0,190	0,100	0,031	0,178	0,102	0,032	0,154	0,088	0,028	0,133	0,077	0,024	0,113	0,066	0,021
2	0,172	0,095	0,029	0,161	0,089	0,028	0,140	0,078	0,024	0,120	0,067	0,021	0,102	0,058	0,018
3	0,157	0,083	0,025	0,146	0,078	0,024	0,127	0,069	0,021	0,109	0,060	0,018	0,093	0,051	0,016
4	0,145	0,075	0,022	0,136	0,071	0,021	0,118	0,063	0,019	0,102	0,055	0,016	0,086	0,047	0,014
5	0,135	0,069	0,020	0,127	0,065	0,019	0,110	0,058	0,017	0,096	0,050	0,014	0,081	0,044	0,013
6	0,126	0,063	0,018	0,118	0,060	0,017	0,103	0,053	0,015	0,089	0,047	0,014	0,076	0,040	0,012
7	0,118	0,059	0,017	0,111	0,056	0,016	0,097	0,049	0,014	0,084	0,043	0,012	0,072	0,037	0,011
8	0,112	0,053	0,015	0,105	0,052	0,015	0,092	0,046	0,013	0,080	0,040	0,012	0,069	0,035	0,010
9	0,106	0,051	0,014	0,099	0,048	0,014	0,089	0,043	0,012	0,076	0,038	0,011	0,065	0,033	0,010
10	0,100	0,048	0,013	0,094	0,046	0,013	0,083	0,041	0,011	0,072	0,036	0,010	0,062	0,031	0,009

	Factori de reflexie														
ρt_{ef}	0,80			0,70			0,50			0,30			0,10		
ρ_p	0,50	0,30	0,10	0,50	0,30	0,10	0,50	0,30	0,10	0,50	0,30	0,10	0,50	0,30	0,10
indicele încăperii	coeficienţii de luminanţă ai tavanului														
1	0,316	0,301	0,288	0,270	0,259	0,248	0,185	0,178	0,171	0,107	0,103	0,099	0,034	0,033	0,032
2	0,311	0,287	0,266	0,266	0,247	0,230	0,182	0,171	0,160	0,105	0,099	0,094	0,034	0,032	0,031
3	0,305	0,276	0,253	0,262	0,238	0,219	0,179	0,165	0,154	0,104	0,097	0,091	0,033	0,031	0,030
4	0,301	0,268	0,243	0,258	0,231	0,211	0,164	0,161	0,149	0,103	0,095	0,088	0,033	0,031	0,029
5	0,296	0,261	0,236	0,254	0,226	0,205	0,175	0,158	0,145	0,102	0,093	0,086	0,033	0,030	0,029
6	0,292	0,257	0,231	0,251	0,222	0,201	0,173	0,156	0,142	0,101	0,092	0,085	0,033	0,030	0,038
7	0,288	0,252	0,308	0,247	0,219	0,198	0,171	0,151	0,140	0,099	0,090	0,084	0,032	0,030	0,028
8	0,285	0,249	0,224	0,245	0,210	0,195	0,170	0,152	0,139	0,099	0,089	0,083	0,032	0,029	0,027
9	0,275	0,246	0,222	0,242	0,214	0,194	0,168	0,150	0,138	0,098	0,088	0,082	0,032	0,029	0,027
10	0,278	0,243	0,221	0,240	0,212	0,192	0,167	0,149	0,137	0,097	0,088	0,081	0,031	0,029	0,027

Tabelul 2

Coeficient de reflexie*	90										80										70										60										50								
ρ_p	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0	90	80	70	60	50	40	30	20	10
i																																																	
0.2	89	88	88	87	86	85	85	84	84	82	79	78	78	77	77	76	76	75	74	72	70	69	68	68	67	67	66	66	65	64	60	59	59	59	58	57	56	56	55	53	50	50	49	49	48	48	47	46	46	44
0.4	88	87	86	85	84	83	81	80	79	76	79	77	76	75	74	73	72	71	70	68	69	68	67	66	65	64	63	62	61	58	60	59	59	58	57	55	54	53	52	50	50	49	48	48	47	46	45	45	44	42
0.6	87	86	84	82	80	79	77	76	74	73	78	76	75	73	71	70	68	66	65	63	69	67	65	64	63	61	59	58	57	54	60	58	57	56	55	53	51	51	50	46	50	48	47	46	45	44	43	42	41	38
0.8	87	85	82	80	77	75	73	71	69	67	78	75	73	71	69	67	65	63	61	57	68	66	64	62	60	58	56	55	53	50	59	57	56	55	54	51	48	47	46	43	50	48	47	45	44	42	40	39	38	36
1.0	86	83	80	77	75	72	69	66	64	62	77	74	72	69	67	65	62	60	57	55	68	65	62	60	58	55	53	52	50	47	59	57	55	53	51	48	45	44	43	41	50	48	46	44	43	41	38	37	36	34
1.2	85	82	78	75	72	69	66	63	60	57	76	73	70	67	64	61	58	55	53	51	67	64	61	59	57	54	50	48	46	44	59	56	54	51	49	46	44	42	40	38	50	47	45	43	41	39	36	35	34	29
1.4	85	80	77	73	69	65	62	59	57	52	76	72	68	65	62	59	55	53	50	48	67	63	60	58	55	51	47	45	44	41	59	56	53	49	47	44	41	39	38	36	50	47	45	42	40	38	35	34	32	27
1.6	84	79	75	71	67	63	59	56	53	50	75	71	67	63	60	57	53	50	47	44	67	62	59	56	53	47	45	43	41	38	59	55	52	48	45	42	39	37	35	33	50	47	44	41	39	36	33	32	30	26
1.8	83	78	73	69	64	60	56	53	50	48	75	70	66	62	58	54	50	47	44	41	66	61	58	54	51	46	42	40	38	35	58	55	51	47	44	40	37	35	33	31	50	46	43	40	38	35	31	30	28	25
2.0	83	77	72	67	62	56	53	50	47	43	74	69	64	60	56	52	48	45	41	38	66	60	56	52	49	45	40	38	36	33	58	54	50	46	43	39	35	33	31	29	50	46	43	40	37	34	30	28	26	24
2.2	82	76	70	65	59	54	50	47	44	40	74	68	63	58	54	49	45	42	38	35	66	60	55	51	48	43	38	36	34	32	58	53	49	45	42	37	34	31	29	28	50	46	42	38	36	33	29	27	24	22
2.4	82	75	69	64	58	53	48	45	41	37	73	67	61	56	52	47	43	40	36	33	65	60	54	50	46	41	37	35	32	30	58	53	48	44	41	36	32	30	27	26	50	46	42	37	35	31	27	25	23	21
2.6	81	74	67	62	56	51	46	42	38	35	73	66	60	55	50	45	41	38	34	31	65	59	54	49	45	40	35	33	30	28	58	53	48	43	39	35	31	28	26	24	50	46	41	37	34	30	26	23	21	20
2.8	81	73	66	60	54	49	44	40	36	34	73	65	59	53	48	43	39	36	32	29	65	59	53	48	43	38	33	30	28	26	58	53	47	43	38	34	29	27	24	22	50	46	41	36	33	29	25	22	20	19
3.0	80	72	64	58	52	47	42	38	34	30	72	65	58	52	47	42	37	34	30	27	64	58	52	47	42	37	32	29	27	24	57	52	46	42	37	32	28	25	23	20	50	45	40	36	32	28	24	21	19	17
3.2	79	71	63	56	50	45	40	36	32	28	72	65	57	51	45	40	35	33	28	25	64	58	51	46	40	36	31	28	25	23	57	51	45	41	36	31	27	23	22	18	50	44	39	35	31	27	23	20	18	16
3.4	79	70	62	54	48	43	38	34	30	27	71	64	56	49	44	39	34	32	27	24	64	57	50	45	39	35	29	27	24	22	57	51	45	40	35	30	26	23	20	17	50	44	39	35	30	26	22	19	17	15
3.6	78	69	61	53	47	42	36	32	28	25	71	63	54	48	43	38	32	30	25	23	63	56	49	44	38	33	28	25	22	20	57	50	44	39	34	29	25	22	19	16	50	44	39	34	29	25	21	18	16	14
3.8	78	69	60	51	45	40	35	31	27	23	70	62	53	47	41	36	31	28	24	22	63	56	49	43	37	32	27	24	21	19	57	50	43	38	33	29	24	21	19	15	50	44	38	34	29	25	21	17	15	13
4.0	77	69	58	51	44	39	33	29	25	22	70	61	53	46	40	35	30	26	22	20	63	55	48	42	36	31	26	23	20	17	57	49	42	37	32	28	23	20	18	14	50	44	38	33	28	24	20	17	15	12
4.2	77	62	57	50	43	37	32	28	24	21	69	60	52	45	39	34	29	25	21	18	62	55	47	41	35	30	25	22	19	16	56	49	42	37	32	27	22	19	17	14	50	43	37	32	28	24	20	17	14	12
4.4	76	61	56	49	42	36	31	27	23	20	69	60	51	44	38	33	28	24	20	17	62	54	46	40	34	29	24	21	18	15	56	49	42	36	31	27	22	19	16	13	50	43	37	32	27	23	19	16	13	11
4.6	76	60	55	47	40	35	30	26	22	19	69	59	50	43	37	32	27	23	19	15	62	53	45	39	33	28	24	21	17	14	56	49	41	35	30	26	21	18	16	13	50	43	36	31	26	22	18	15	13	10
4.8	75	59	54	46	39	34	28	25	21	18	68	58	49	42	36	31	26	22	18	14	62	53	45	38	32	27	23	20	16	13	56	48	41	34	29	25	21	18	15	12	50	43	36	31	26	22	18	15	12	09
5.0	75	59	53	45	38	33	28	24	20	16	68	58	48	41	35	30	25	21	18	14	61	52	44	36	31	26	22	19	16	12	56	48	40	34	28	24	20	17	14	11	50	42	35	30	25	21	17	14	12	09
6.0	73	61	49	41	34	29	24	20	16	11	66	55	44	38	31	27	22	19	15	10	60	51	41	35	28	24	19	16	13	09	55	45	37	31	25	21	17	14	11	07	50	42	34	29	23	19	15	13	10	06
7.0	70	58	45	38	30	27	21	18	14	08	64	53	41	35	28	24	19	16	12	07	58	48	38	32	26	22	17	14	11	06	54	43	35	30	24	20	15	12	09	05	49	41	32	27	21	18	14	11	08	05
8.0	68	55	42	35	27	23	18	15	12	06	62	50	38	32	25	21	17	14	11	05	57	46	35	29	23	19	15	13	10	05	53	42	33	28	22	18	14	11	08	04	49	40	30	25	19	16	12	10	07	03
9.0	66	52	38	31	25	21	16	14	11	05	61	49	36	30	23	19	15	13	10	04	56	45	33	27	21	18	14	12	09	04	52	40	31	26	20	16	12	10	07	03	48	39	29	24	18	15	11	09	07	03
10.0	65	51	36	29	22	19	15	11	09	04	59	46	33	27	21	18	14	11	08	03	55	43	31	25	19	16	12	10	08	03	51	39	29	24	18	15	11	09	07	02	47	37	27	22	17	14	10	08	06	02

Coeficient de reflexie	40										30										10										10										0									
ρ_p	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
i																																																		
0.2	40	40	39	39	39	38	38	37	36	36	31	31	30	30	29	29	29	28	28	27	21	20	20	20	20	20	19	19	19	17	11	11	11	10	10	10	10	09	09	09	02	02	02	01	01	01	01	00	00	0
0.4	41	40	39	39	38	37	36	35	34	34	31	31	30	30	29	28	28	27	26	25	22	21	20	20	20	19	19	18	18	16	12	11	11	11	11	10	10	09	09	08	04	03	03	02	02	02	01	01	00	0
0.6	41	40	39	38	37	36	34	33	32	31	32	31	30	29	28	27	26	26	25	23	23	21	21	20	19	19	18	18	17	15	13	13	12	11	11	10	10	09	08	08	05	05	04	03	03	02	02	01	01	0
0.8	41	40	38	37	36	35	33	32	31	29	32	31	30	29	28	26	25	25	23	22	24	22	21	20	19	19	18	17	16	14	15	14	13	12	11	10	10	09	08	07	07	06	05	04	04	03	02	02	01	0
1.0	42	40	38	37	35	33	32	31	29	27	33	32	30	29	27	25	24	23	22	20	25	23	22	20	19	18	17	16	15	13	16	14	13	12	12	11	10	09	08	07	08	07	06	05	04	03	02	02	01	0
1.2	42	40	38	36	34	32	30	29	27	25	33	32	30	28	27	25	23	22	21	19	25	23	22	20	19	17	17	16	14	12	17	15	14	13	12	11	10	09	07	06	10	08	07	06	05	04	03	02	01	0
1.4	42	39	37	35	33	31	29	27	25	23	34	32	30	28	26	24	22	21	19	18	26	24	22	20	18	17	16	15	13	12	18	16	14	13	12	11	10	09	07	06	11	09	08	07	06	04	03	02	01	0
1.6	42	39	37	35	32	30	27	25	23	22	34	33	29	27	25	23	22	20	18	17	26	24	22	20	18	17	16	15	13	11	19	17	15	14	12	11	09	08	07	06	12	10	09	07	06	05	03	02	01	0
1.8	42	39	36	34	31	29	26	24	22	21	35	33	29	27	25	23	21	19	17	16	27	25	23	20	18	17	15	14	12	10	19	17	15	14	13	11	09	08	06	05	13	11	09	08	07	05	04	03	01	0
2.0	42	39	36	34	31	28	25	23	21	19	35	33	29	26	24	22	20	18	16	14	28	25	23	20	18	16	15	13	11	09	20	18	16	14	13	11	09	08	06	05	14	12	10	09	07	05	04	03	01	0
2.2	42	39	36	33	30	27	24	22	19	18	36	32	29	26	24	22	19	17	15	13	28	25	23	20	18	16	14	12	10	09	21	19	16	14	13	11	09	07	06	05	15	13	11	09	07	06	04	03	01	0
2.4	43	39	35	33	29	27	24	21	18	17	36	32	29	26	24	22	19	16	14	12	29	26	23	20	18	16	14	12	10	08	22	19	17	15	13	11	09	07	06	05	16	13	11	09	08	06	04	03	01	0
2.6	43	39	35	32	29	26	23	20	17	15	36	32	29	25	23	21	18	16	14	12	29	26	23	20	18	16	14	11	09	08	23	20	17	15	13	11	09	07	06	04	17	14	12	10	08	06	05	03	02	0
2.8	43	39	35	32	28	25	22	19	16	14	37	33	29	25	23	21	17	15	13	11	30	27	23	20	18	15	13	11	09	07	23	20	18	16	13	11	09	07	05	03	17	15	13	10	08	07	05	03	02	0
3.0	43	39	35	31	27	24	21	18	16	13	37	33	29	25	22	20	17	15	12	10	30	27	23	20	17	15	13	11	09	07	24	21	18	16	13	11	09	07	05	03	18	16	13	11	09	07	05	03	02	0
3.2	43	39	35	31	27	23	20	17	15	13	37	33	29	25	22	19	16	14	12	10	31	27	23	20	17	15	12	11	09	06	25	21	18	16	13	11	09	07	05	03	19	16	14	11	09	07	05	03	02	0
3.4	43	39	34	30	26	23	20	17	14	12	37	33	29	25	22	19	16	14	11	09	31	27	23	20	17	15	12	10	08	06	26	22	18	16	13	11	09	07	05	03	20	17	14	12	09	07	05	03	02	0
3.6	44	39	34	30	26	22	19	16	14	11	38	33	29	24	21	18	15	13	10	09	32	27	23	20	17	15	12	10	08	05	26	22	19	16	13	11	09	06	04	03	20	17	15	12	10	08	05	04	02	0
3.8	44	38	33	29	25	22	18	16	13	10	38	33	28	24	21	18	15	13	10	08	32	28	23	20	17	15	12	10	07	05	27	23	19	17	14	11	09	06	04	02	21	18	15	12	10	08	05	04	02	0
4.0	44	38	33	29	25	21	18	15	12	10	38	33	28	24	21	18	14	12	09	07	33	28	23	20	17	14	11	09	07	05	27	23	20	17	14	11	09	06	04	02	22	18	15	13	10	08	05	04	02	0
4.2	44	38	33	29	24	21	17	15	12	10	38	33	28	24	20	17	14	12	09	07	33	28	23	20	17	14	11	09	07	04	28	24	20	17	14	11	09	06	04	02	22	19	16	13	10	08	06	04	02	0
4.4	44	38	33	28	24	20	17	14	11	09	39	33	28	24	20	17	14	11	09	06	34	28	24	20	17	14	11	09	07	04	28	24	20	17	14	11	08	06	04	02	23	19	16	13	10	08	06	04	02	0
4.6	44	38	32	28	23	19	16	14	11	08	39	33	28	24	20	17	13	10	08	06	34	29	24	20	17	14	11	09	07	04	29	25	20	17	14	11	08	06	04	02	23	20	17	13	11	08	06	04	02	0
4.8	44	38	32	27	22	19	16	13	10	08	39	33	28	24	20	17	13	10	08	05	35	29	24	20	17	13	10	08	06	04	29	25	20	17	14	11	08	06	04	02	24	20	17	14	11	08	06	04	02	0
5.0	45	38	31	27	22	19	15	13	10	07	39	33	28	24	19	16	13	10	08	05	35	29	24	20	16	13	10	08	06	04	30	25	20	17	14	11	08	06	04	02	25	21	17	14	11	08	06	04	02	0
6.0	44	37	30	25	20	17	13	11	08	05	39	33	27	23	18	15	11	09	06	04	36	30	24	20	16	13	10	08	05	02	31	26	21	18	14	11	08	06	03	01	27	23	18	15	12	09	06	04	02	0
7.0	44	36	29	24	19	16	12	10	07	04	40	33	26	22	17	14	10	08	05	03	36	30	24	20	15	12	09	07	04	02	32	27	21	17	13	11	08	06	03	01	28	24	19	15	12	09	06	04	02	0
8.0	44	35	28	23	18	15	11	09	06	03	40	33	26	21	16	13	09	07	04	02	37	30	23	19	15	12	08	06	03	01	33	27	21	17	13	10	07	05	03	01	30	25	20	15	12	09	06	04	02	0
9.0	44	35	26	21	16	13	10	08	05	02	40	33	25	20	15	12	09	07	04	02	37	29	23	19	14	11	08	06	03	01	34	28	21	17	13	10	07	05	02	01	31	25	20	15	12	09	06	04	02	0
10.0	43	34	25	20	15	12	08	07	05	02	40	32	24	19	14	11	08	06	03	01	37	29	22	18	13	10	07	05	03	01	34	28	21	17	12	10	07	05	02	01	31	25	20	15	12	09	06	04	02	0

* Plafon, pardoseală sau pardoseala cavității

de luminanță. În caz contrar coeficienții de luminanță din [9] nu se pot asimila corpurilor de iluminat produse în țară, erorile introduse fiind cu atît mai mari cu cît diferența dintre cele două curbe de distribuție este mai mare.

Pentru eliminarea oricăror neajunsuri de acest gen, s-a trecut la calculul coeficienților de luminanță pentru corpurile de iluminat de fabricație românească, după metodologia indicată de IES în [9]. Conform acestei metodologii, calculul operează cu fluxurile zonale determinate pentru fiecare tip de corp de iluminat în parte pe baza curbei sale de distribuție a intensității luminoase, pe zone de unghiuri plane considerate din 10° în 10°. Calculul automat a fost condus după organigrama din figura 3.

Valorile coeficienților de luminanță astfel determinate sînt prezentate, pentru două dintre corpurile de iluminat uzuale, în tabelul 1. Rezultatele calculului luminanței utilizînd acești coeficienți au fost confirmate prin măsurări efectuate pe sisteme de iluminat reale [8].

4. Procedura de calcul al luminanței peretelui și plafonului prin metoda coeficientului de luminanță

Luminanța medie a peretelui și plafonului unei incinte se calculează prin metoda coeficientului de luminanță aplicînd relațiile (4) și (5). Explicitînd fluxul luminos, aceste relații se pot utiliza în egală măsură la dimensionarea sistemelor de iluminat în funcție de luminanța suprafețelor reflectante interioare. Rezultatele obținute prin aplicarea acestor două relații se referă la valorile menținute (finale) ale mărimilor fotometrice respective.

Pentru un corp de iluminat dat și o soluție de montaj cunoscută (pe plafon sau suspendat), determinarea coeficienților de luminanță ai peretelui l_p și plafonului l_t se efectuează în următoarele etape:

— stabilirea caracteristicilor foto-geometrice ale încăperii (dimensiunile L, l, H, coeficienții de reflexie ai peretelui ρ_p, plafonului ρ_t și pardoselii ρ_d);

— determinarea înălțimii cavității încăperii h, cavității plafonului h_t și cavității pardoselii h_u — fig. 2);

— calculul indicelui cavității încăperii i, cavității plafonului i_t și cavității pardoselii i_d, respectiv cu relațiile (6), (7) și (8);

— determinarea coeficienților efectivi de reflexie ai cavității plafonului $\rho_{t_{ef}}$ și pardoselii $\rho_{d_{ef}}$ (tabelul 2), în funcție de indicele cavității considerate, de coeficientul de reflexie de referință al cavității respective și de coeficientul mediu de reflexie al peretelui ρ_p;

— determinarea coeficientului de luminanță l_p și/sau l_t pentru corpul de iluminat considerat (tabelul 1), în funcție de indicele cavității încăperii i, coeficientul efectiv de reflexie al cavității plafonului $\rho_{t_{ef}}$, coeficientul mediu de reflexie al peretelui ρ_p și coeficientul efectiv de reflexie al cavității pardoselii $\rho_{d_{ef}}$; valorile coeficienților din tabelul 1 se multiplică cu $\frac{1}{\pi}$.

Pentru valori ale indicelui încăperii care nu sînt numere întregi, valoarea coeficienților de luminanță se determină prin interpolare. Dacă este necesar ca interpolarea să se efectueze pe două direcții, se recomandă întîi interpolarea între coeficienții de luminanță corespunzători indicilor încăperii.

Valorile coeficienților de luminanță ai corpurilor de iluminat produse în țară sînt prezentate în tabelul 1 pentru $\rho_{d_{ef}} = 20\%$. Pentru alte valori ale lui $\rho_{d_{ef}}$, este necesară corectarea coeficienților de luminanță determinați ca mai sus, prin multiplicare cu un factor ales corespunzător din tabelul 3.

Pentru exemplificarea modului de calcul al luminanței medii a suprafețelor reflectante interioare prin metoda coeficientului de luminanță, în anexa 1 este prezentat un exemplu de calcul.

Concluzii

Calculul iluminatului interior pe baza luminanței, considerată ca mărime de referință, constituie expresia uneia dintre cele mai importante cerințe ale structurii conceptuale moderne a iluminatului.

Această manieră de abordare a problemelor cantitative și calitative ale iluminatului presupune dezvoltarea unui aparat eficient pentru calculul luminanței suprafețelor interioare reflectante (pereți, plafon, plan util).

Studiul comparativ al metodelor de calcul aplicate în prezent în țară și peste hotare a condus la concluzia că cea mai eficientă metodă de calcul al luminanței suprafețelor reflectante, sub aspectul rapidității și preciziei rezultatelor, este metoda coeficienților de luminanță elaborată de IES [9].

Avînd în vedere avantajele deosebite și multiple ale acestei metode s-a optat pentru aplicarea ei în țara noastră. În acest scop s-au calculat coeficienții de luminanță pentru corpurile de iluminat interior uzuale produse în țară, urmînd metodologia de calcul recomandată de IES. Coeficienții de luminanță astfel calculați sînt dați în tabelul 1 pentru domeniile uzuale de valori ale indicelui cavității încăperii și ale coeficienților de reflexie ai peretelui, plafonului și pardoselii.

Astfel, luminanța medie a peretelui se poate calcula cu o relație simplă de forma (4), iar luminanța zonelor avînd coeficienți de reflexie diferiți de valoarea medie a coeficientului de reflexie al peretelui se poate determina printr-o corecție, de asemenea simplă, aplicînd relația (2).

Tabelul 3

ρt_{ef}	80				70				50			30			10		
ρ_p	70	50	30	10	70	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10
pentru $\rho_{d_{ef}} = 30\%$																	
i																	
1	1.092	1.082	1.075	1.068	1.077	1.070	1.064	1.059	1.049	1.044	1.040	1.028	1.026	1.023	1.012	1.010	1.008
2	1.079	1.066	1.055	1.047	1.068	1.057	1.048	1.039	1.041	1.033	1.027	1.026	1.021	1.017	1.013	1.010	1.066
3	1.070	1.054	1.042	1.033	1.061	1.048	1.037	1.028	1.034	1.027	1.020	1.024	1.017	1.012	1.014	1.009	1.005
4	1.062	1.045	1.033	1.024	1.055	1.040	1.029	1.021	1.030	1.022	1.015	1.022	1.015	1.010	1.014	1.009	1.004
5	1.056	1.038	1.026	1.018	1.050	1.034	1.024	1.015	1.027	1.018	1.012	1.020	1.013	1.008	1.014	1.009	1.004
6	1.052	1.033	1.021	1.014	1.047	1.030	1.020	1.012	1.024	1.015	1.009	1.019	1.012	1.006	1.014	1.008	1.003
7	1.047	1.029	1.018	1.011	1.043	1.026	1.017	1.009	1.022	1.013	1.007	1.018	1.010	1.005	1.014	1.008	1.003
8	1.044	1.026	1.015	1.009	1.040	1.024	1.015	1.007	1.020	1.012	1.006	1.017	1.009	1.004	1.013	1.007	1.003
9	1.040	1.024	1.014	1.007	1.037	1.022	1.014	1.006	1.019	1.011	1.005	1.016	1.009	1.004	1.013	1.007	1.002
10	1.037	1.022	1.012	1.006	1.034	1.020	1.012	1.005	1.017	1.010	1.004	1.015	1.009	1.003	1.013	1.007	1.002
pentru $\rho_{d_{ef}} = 10\%$																	
i																	
1	.923	.929	.935	.940	.933	.939	.943	.948	.956	.960	.963	.973	.976	.979	.989	.991	.993
2	.931	.942	.950	.958	.940	.949	.957	.963	.962	.968	.974	.976	.980	.985	.988	.991	.995
3	.939	.951	.961	.969	.945	.057	.966	.973	.967	.975	.981	.978	.983	.988	.988	.992	.996
4	.944	.958	.969	.978	.950	.963	.973	.980	.972	.980	.986	.980	.986	.991	.987	.992	.996
5	.949	.964	.976	.983	.954	.968	.978	.985	.975	.983	.989	.981	.988	.993	.987	.992	.997
6	.953	.969	.980	.986	.958	.972	.982	.989	.977	.985	.992	.982	.989	.995	.987	.993	.997
7	.957	.973	.983	.991	.961	.975	.985	.991	.979	.987	.994	.983	.990	.996	.987	.993	.998
8	.960	.976	.986	.993	.963	.977	.987	.993	.981	.988	.995	.984	.991	.997	.987	.994	.998
9	.963	.978	.987	.994	.965	.979	.989	.994	.983	.990	.996	.985	.992	.998	.988	.994	.999
10	.965	.980	.989	.995	.967	.981	.990	.995	.984	.991	.997	.986	.993	.998	.988	.994	.999
pentru $\rho_{d_{ef}} = 0$																	
i																	
1	.859	.870	.879	.886	.873	.884	.893	.901	.916	.923	.929	.948	.954	.960	.979	.983	.987
2	.871	.887	.903	.919	.886	.902	.916	.928	.926	.938	.949	.954	.963	.971	.978	.983	.991
3	.882	.904	.915	.942	.898	.918	.934	.947	.936	.950	.964	.958	.969	.979	.976	.984	.993
4	.893	.919	.941	.958	.908	.930	.948	.961	.945	.961	.974	.961	.974	.984	.975	.985	.994
5	.903	.931	.953	.969	.914	.939	.958	.970	.951	.967	.980	.964	.977	.988	.975	.985	.995
6	.911	.940	.961	.976	.920	.945	.965	.977	.955	.972	.985	.966	.979	.991	.975	.986	.996
7	.917	.947	.967	.981	.924	.950	.970	.982	.959	.975	.988	.968	.981	.993	.975	.987	.997
8	.922	.953	.971	.985	.929	.955	.975	.986	.963	.978	.991	.970	.983	.995	.976	.988	.998
9	.928	.958	.975	.988	.933	.959	.980	.989	.966	.980	.993	.971	.985	.996	.976	.988	.998
10	.933	.962	.979	.991	.937	.963	.983	.992	.969	.982	.995	.973	.987	.997	.977	.989	.999

Pentru corpurile de iluminat montate suspendat, luminanța medie a cavității plafonului calculată cu relația (5), reprezintă luminanța medie a unui plan imaginar situat la nivelul corpurilor de iluminat, care nu include valoarea luminanței corpurilor. Astfel, luminanța medie a cavității plafonului reprezintă mai degrabă luminanța medie a fondului pe care sînt privite corpurile de iluminat.

Pentru corpurile de iluminat montate pe plafon sau îngropat, luminanța medie a cavității plafonului reprezintă luminanța medie a părții plafonului dintre corpurile de iluminat.

Metoda coeficientului de luminanță permite totodată determinarea luminanței medii a planului util, dar printr-un calcul indirect, aplicînd relația (1).

Datorită condițiilor inițiale stabilite pentru calculul coeficienților de luminanță, limitele metodei sînt similare cu cele ale metodei coeficientului de utilizare, și anume:

— valorile coeficienților de luminanță sînt calculate pentru interioare nemobilate și neocupate de personal;

— valorile luminanței calculate cu metoda coeficienților de luminanță sînt semnificative numai pentru o distribuție standard (simetrică) a corpurilor de iluminat pe planul plafonului.

ANEXA 1

Exemplu de aplicare a metodei coeficientului de luminanță la calculul luminanței medii a suprafețelor reflectante interioare

Se consideră o încăpere cu dimensiunile $L = 13{,}6$ m, $l = 6{,}8$ m, $H = 4{,}1$ m, având următoarele înălțimi ale cavităților zonale (v. fig. 2) : $h = 3{,}2$ m, $h_u = 0{,}8$ m, $h_a = 0{,}1$ m. Coeficienții medii de reflexie ai plafonului, peretelui și pardoselii sînt, respectiv, $\rho_t = 0{,}7$, $\rho_p = 0{,}5$ și $\rho_d = 0{,}2$. Sistemul de iluminat este simetric, realizat cu 15 corpuri de iluminat FIAG—01—240/1x (flux inițial instalat, $\Phi = 64500$ lm).

Se cere să se determine luminanța medie menținută a peretelui și luminanța medie a unei zone a peretelui caracterizată printr-un coeficient de reflexie $\rho_k = 0{,}75$.

Calculul luminanței medii a peretelui se efectuează prin metoda coeficientului de luminanță, după procedura indicată în § 4.

Aplicînd relațiile (6) și (7) se determină indicii cavităților încăperii și plafonului. Rezultă, respectiv, $i = 3{,}52$ și $i_t = 0{,}11$.

Din tabelul 2 se determină coeficientul efectiv de reflexie al cavității plafonului. Pentru $\rho_t = 0{,}7$ și $\rho_p = 0{,}5$ se obține $\rho_{t_{ef}} = 0{,}68$.

Pentru corpul de iluminat FIAG—01—240, coeficientul de luminanță al peretelui se determină din tabelul 1. Astfel, pentru $i = 3{,}52$, $\rho_{t_{ef}} = 0{,}68$ și $\rho_p = 0{,}5$, prin interpolare dublă rezultă

$$l_p = 0{,}138 \cdot 1/\pi = 0{,}044.$$

Aplicînd relația (4), luminanța medie menținută a peretelui este

$$L_p = \frac{64\,500}{1{,}4 \cdot 92{,}48} \cdot 0{,}044 = 21{,}9 \text{ cd/m}^2,$$

unde valoarea coeficientului de menținere $k = 1{,}4$ s-a luat conform [11].

Luminanța medie a zonei peretelui cu coeficientul de reflexie $\rho_k = 0{,}75$ (diferit de coeficientul mediu de reflexie al peretelui $\rho_p = 0{,}5$) se calculează cu relația (2). Astfel, se obține

$$L_k = 21{,}9 \frac{0{,}75}{0{,}5} = 32{,}8 \text{ cd/m}^2.$$

Observație

Valorile determinate prin procedura de calcul de mai sus sînt confirmate prin măsurări experimentale efectuate pe o instalație reală, considerată ca model fizic de iluminat [8]. Caracteristicile foto-geometrice ale modelului sînt cele considerate în exemplul de calcul. Astfel, valoarea măsurată a luminanței medii a peretelui este $L_p^* = 22{,}7$ cd/m², confirmînd calculul cu o eroare relativă de numai 3,5 %.

Asemănător, valoarea măsurată în zona k a peretelui este $L_k^* = 30{,}6$ cd/m².

Bibliografie

[1] Chiriță, G. *Implementarea luminanței ca mărime de conexiune între aspectele cantitative și calitative ale sistemelor de iluminat interior.* Sesiunea de comunicări a cercurilor științifice studențești, ICB, 1988.

[2] Chiriță, G. *Sisteme integrate de iluminat artificial și natural.* Referat de doctorat, ICB, 1985.

[3] Bianchi, C., Chiriță, G. *Studiu asupra dimensionării instalațiilor de iluminat interior în funcție de luminanța surselor și suprafețelor ambiante.* Sesiunea de comunicări a cercurilor științifice studențești, ICB, 1985.

[4] Bianchi, C. ș. a. *Proiectarea instalațiilor de iluminat electric.* Editura Tehnică, București, 1981.

[5] UTE. *Méthode simplifiée de prédétermination des éclairements dans les espaces clos et classification correspondante des luminaires.* Norme de l'Union Technique de l'Électricité, UTE 71/121, Paris, 1970.

[6] CIE. *Calculation for Interior Lighting — Applied Method.* Publication CIE No. 40, TC — 1.5, 1978.

[7] STAS R 11621-81. *Iluminatul artificial. Metodă de calcul al iluminării medii în clădiri.*

[8] Chiriță, G. *Studiu comparativ asupra metodelor de calcul al iluminării și luminanței medii a suprafețelor reflectante interioare.* Sesiunea de comunicări a cercurilor științifice studențești, ICB, 1987.

[9] IES. *Lighting Handbook. The Standard Lighting Guide.* Illuminating Engineering Society, New York, 1972.

[10] Richard, W. *Calcul et mesure des éclairements et des luminances en éclairage intérieur.* LUX, nr. 56, 1970.

[11] STAS 6646/1-79. *Iluminatul artificial. Condiții generale pentru iluminatul în construcții civile și industriale.*

(Primit la 22 iunie 1988, acceptat 16 septembrie 1988)

Montarea aeroagregatelor electrice de 300 kW pe muntele Semenic. Aspecte tehnologice principale privind lucrările de construcţii şi montaj

Dr. ing. ANTON GÀRBACEA*

Descriptori : aerogeneratoare electrice, construcţii-montaj

CZ : 621.311.24

Lucrarea cuprinde două părţi şi anume :

A. Caracteristici principale privind tehnologiile de montaj al aeroagregatelor electrice utilizate pe plan mondial. Aceasta cu scopul lărgirii cunoaşterii elementelor practice şi a căilor de îmbunătăţire din punct de vedere tehnico-economic.

B. Sînt prezentaţi factorii care au concurat la elaborarea, realizarea şi montajul aeroagregatului model experimental tip AAETO—MD—2—300, beneficiar Consiliul Naţional pentru Ştiinţă şi Tehnologie prin Institutul Politehnic „Traian Vuia" din Timişoara.

Se analizează caracteristici meteorologice şi factorii specifici ai muntelui Semenic, prezentîndu-se tehnologia de construcţii-montaj utilizată în aceste condiţii. Se fac referiri în concluzie la îmbunătăţirile necesare pentru montajul prototipului MEE model EOLTIM 3/2 de 300 kW, precum şi a seriei pe amplasamentul Semenic.

The paper consists of two parts, i.e. :

A. Main characteristics of wind power units erection technologies used worldwide. They are intended to extend the knowledge of the practical elements and of the technical and economic improvement ways.

B. The factors which have been used for the elaboration, erection and mounting of the experimental wind power unit model type AAETO—MD—2—300 are presented. The unit was built for the National Council for Science and Technology by the Polytechnical Institute "Traian Vuia" of Timişoara.

The meteorological characteristics and the specifical factors of the Semenic mountains are pinpointed as well as the mounting and erection technology applied in these conditions. Concludingly, the improvements necessar for mounting the 300 kW installation prototype model EOLTIM 3/2 of the Ministry of Electric Energy as well as of the wind farm on the Semenic mountains are presented.

Mounting 300 kW Wind Power Units on the Semenic Mountains. Main Tehnological Aspects of the Erection and Mounting Activities

(Condensed from the paper in Romanian)

The worldwide concerns during the last two decades regarding wind energy development for the generation of electricity are quite important. A large choice of wind power units exists at present in the world.

Taking into account the data published by the British review "Modern Power Systems" [1] it results that these amount to totally 85 design types. Among these the horizontal axes units represent 88%.

Comparative data of wind power units of the power range between 300 and 3 000 kW are presented. The 300 kW horizontal axes types are the item of interest of this paper since they are similar to the ones erected on the Semenic mountains and whose main characteristics are: height 30 m, rotor diameter 30 m, speed rate 50 rot/min, number of blades 3.

The precise number of erected units and their description is given in the report "Wings in the Wind" [2]. The authors mention the fact that only in California there are about 13,000 wind power units in operation with a total installed power of 1 100 MW. This power is equivalent to the one obtained from a modern nuclear power plant.

Comparative elements regarding the cost of 1 kW installed power are enumerated as well. Thus, this cost amounts to 2 500 DM for a 120 kW wind power unit installed in Denmark. This cost is of 2 000 DM for a coal burning power plant and 3 500 DM for a nuclear power plant.

Normally, the main construction characteristics of these installations determine the execution technologies of the erection and mounting activities. References from literature about the representative technologies used in Holland, Denmark, the USA, Great Britain, FRG, Sweden are presented: the foundation, the erection of the wind turbine tower, the mounting of the unit itself, presenting variants as for example: the basket as well as the rotor and the blades, special technologies for high power units at which the mounting process is computer controlled, etc.

Regarding the mounting activities at the 300 kW experimental model wind power unit built by the Polytechnical Institute "Traian Vuia" Timisoara for the National Council for Science and Technology on the Semenic mountains there are presented the working conditions on this mountain location, as follows:

a) The meteorological conditions with the analyses of the wind stability parameters for the mountain quotas, i.e.: the heights of 30 and 40 m. The blade is mounted at a height of 45 m thus that the protection and security regulations for the personnel as well as the reduced capacities of the lifting facilities were quite special.

b) The transportation problems. The district road Reşiţa—Semenic, 39 km in length, has steep slopes, some of them exceeding the normal limits, having about 346 curves. Many of these curves with an external radius under the one admitted for transport trailers have created and imposed special and sometimes very difficult problems for the transportation of the parts.

c) Organisatoric and living conditions. The erction and mounting program of these wind power units on the Semenic mountains comprises about 300 units to be installed in the future. Some of the endowments needed by the construction enterprises Electromontaj as well as by the operation enterprises are thus mentioned.

Further, the manufacturing and mounting technology for the 300 kW experimental model wind power unit type AAETO —MD 2 is presented. The concept and the design of this unit have been achieved at the Polytechnical Institute "Traian Vuia" Timişoara, the Research and Technological Engineering Center for Hydromechanical Equipment — CCSITEH, the Design Institute Timişoara — IPROTIM and Electro-

* Dr. ing. Anton Gàrbacea — Trustul Antrepriză Electromontaj — filiala Sibiu.

montaj from Timişoara. All the component parts were delivered by the Metallic Constructions Enterprise Bocşa.

The methods and technological procedures applied for the first time in our country for the foundation and support structure are presented. The support structure up to the quota + 30 m was mounted by means of a 140 tp autocrane type TM—1400 made by GROVE (USA).

The metallic structure consists of four pillars connected by a central section. This structure carries the support mast itself which has a diameter of 2200 mm.

The erection and mounting activities have contributed to the obtaining of a valuable practical experience. The conclusions will improve the erection and mounting technology of the industrial prototype elaborated with the Ministry of Electric Energy of the 300 kW wind power unit erected on the Semenic mountains.

At the same time, the new technology with superior technico-economic parameters is subject to a wide studies and research program within the new technical plan. This plan establishes the lifting facilities for the mountaing activities on the Semenic mountains. Thus, the Research and Technological Engineering Institute for Mining Equipment and Lifting Devices Timişoara have elaborated a study of the different machines types liable to work on the Semenic mountains. The Polytechnical Institute "Traian Vuia" Timişoara actively contributes to the theoretical research work for the establishing of the mounting technologies with reference to all the necessar activities for a series manufacturing. The Theoretical Mechanics Chair have elaborated the dynamic rotor balancing method. The Hydraulic Machines Chair have elaborated a study for the methods and devices usable to mount the blades of this wind power unit.

Future results of the erection and mounting activities at the wind power units, the experience achieved will be published later.

Considerații generale

Preocupările pe plan mondial ale ultimelor două decenii urmăresc cu precădere dezvoltarea folosirii energiei eoliene în vederea producerii de energie electrică. Deosebit de utile în practică sînt rezultatele obținute de către Institutul Politehnic „Traian Vuia" din Timișoara.

Munca de cercetare a creat condițiile necesare de realizare, în primul rînd, a aeroagregatului electric de 300 kW pilot de cercetare, care funcționează la Facultatea de Mecanică din Timișoara. Continuarea și dezvoltarea cercetărilor au condus la elaborarea unui aeroagregat model experimental cu o putere sporită, de 300 kW cu ax orizontal. Acesta se montează în prezent pe muntele Semenic din Banat. Cercetările aplicative, elaborarea documentațiilor tehnice s-au efectuat de către Centrul de Cercetare Științifică și Inginerie Tehnologică pentru Echipamente Hidromecanice — filiala din Timișoara. Au mai colaborat pentru partea de construcții IPROTIM Timișoara, iar pentru tehnologia de montaj TAGEM București—secția de proiectare.

Execuția familiei aeroagregatelor cu ax orizontal de 300 kW, care însumează pînă la ora actuală două unități, este realizată de către furnizorul general — Întreprinderea de Construcții Metalice Bocșa, care urmează în primul rînd să termine execuția subansamblurilor componente ale modelului experimental, iar în al doilea rînd subansamblurile aparținînd prototipului industrial M.E.E. proiectat de CCSITEH împreună cu montorul Electromontaj din Timișoara.

Proiectantul general, începînd cu prototipul industrial, este ISPH București, care elaborează documentațiile părților de construcții. Antreprenor general este TAGEM București — AEM Sibiu — Brigada Complexă din Timișoara. Acesta efectuează lucrările de construcții-montaj pentru modelul experimental, beneficiar Comitetul Național pentru Știință și Tehnologie prin IPTV Timișoara — Catedra de mașini hidraulice.

Lucrarea de față relevă posibilități și experiențe dobîndite în activitatea de construcții-montaj ale aeroagregatelor. S-a urmărit să se facă o prezentare mai largă a tehnologiilor principale folosite în procesele de montaj pe plan mondial. Sînt totodată analizate particularități privind operațiile de montaj la condițiile concrete și specifice amplasamentului de pe muntele Semenic.

Lucrările realizate, precum și cercetările aplicative efectuate au caracter de noutate la noi în țară. Se arată unele dintre preocupările din acest domeniu în perspectiva realizării programului pe Semenic, care prevede construcția a circa 300 de unități ale acestor grupări eoliene.

1. Tehnologii de montaj utilizate pe plan mondial

Pentru a prezenta o imagine globală a nivelului de extindere a centralelor eoliene pe plan mondial s-au selectat cîteva date publicate în literatura tehnică de specialitate.

Astfel, din revista britanică „Modern Power Systems" [1] rezultă că cele mai răspîndite sînt aeroagregatele cu ax orizontal. Acestea totalizează un număr de 75 modele constructive, realizate de către 35 firme specializate în 10 țări. Firmele cu cele mai multe unități operaționale construite sînt: BERGEY Windpower; ENERTECH Corp. — SUA; MAN GmbH R.F.G. Aeroagregatele cu ax vertical înregistrează 10 modele constructive produse de către cinci firme existente în patru țări. Numărul cel mai mare de unități operaționale este deținut de firma Indal Technologies Inc. Canada. Revista citată arată că dintr-un total de 85 modele constructive ale centralelor eoliene, instalațiile cu ax orizontal reprezintă 88%.

Caracteristicile constructive principale ale aeroagregatelor sînt prezentate în tabelul 1, în care este inclus și modelul experimental montat pe Semenic, tip AAETO—MD 2—300 (ELOTIM 3/1). În tabelul 1 sînt prezentate, de asemenea, și subansamblurile principale,

Tabelul 1

Principalele caracteristici ale unor aeroagregate electrice cu ax orizontal

Caracteristici	Voith-WEC R.F.G.	MITSU-BISHI Japonia	J. HOW-DEN Scoția	NEWECS 25 Olanda	AAETO 300 MD 2 R.S.R.	WESTING HOUSE WWG-0600 S.U.A.	MAN WKA 60 R.F.G.	NOHAB WTS 75–2 Suedia	MMB AEOLUS II R.F.G.	WIND ENERGY LS 1 Anglia	WTS–4 S.U.A.
Înălțimea stîlpului susținere [m]	—	30	25	35	30	36,6	50	80	—	45	80
Diametrul rotor [m]	51	33	31	26,5	30	43,3	60	75	75	60	78
Puterea nominală [kW]	316	300	330	300	300	600	1200	2000	3000	3000	3000
Turația [rot/min]	37	58,6	31	58	50	43	23	25	22,5	34	26,8
Numărul de palete	2	3	3	2	3	2	3	2	2	2	2
	răşini + fibră carbon	răşini + fibră carbon	lemn + răşini	fibră sticlă poliester	oțel	lemn + răşini	oțel + fibră sticlă	oțel + fibră sticlă	răşini + fibră carbon	oțel + fibră sticlă	fibră sticlă + poliester
Stîlpul de susținere	cilindru oțel	cilindru oțel	cilindru oțel	cilindru oțel	tetrapod + cilindru oțel	cilindru oțel	cilindru oțel + beton	beton pretensionat	beton tronconic	cilindru beton	cilindru oțel

cum sînt, de exemplu, paletele, la care se poate observa diversitatea soluțiilor și implicit a materialelor din care sînt construite : răşini cu fibre din carbon, lemn cu răşini, poliester armat cu fibre din sticlă, sau, ca la modelul timișorean, structură cu înveliș de tablă din oțel.

Caracteristicile prezentate sînt deosebit de importante la determinarea și adoptarea tehnologiilor de construcții-montaj. Sînt indicate principalele caracteristici ale aeroagregatelor electrice avînd puterile de 600, 1200, 2000 și 3000 kW.

Informații referitoare la numărul de aeroagregate montate pînă în prezent, se găsesc în articolul „*Aripi în vînt*" [2]. Autorii se referă la aeroagregatele montate în California, menționînd că pe meleagurile coastelor Pacificului funcționează actualmente circa 13 mii aeroagregate cu o putere total instalată de 1100 MW. Această putere este echivalentă cu aceea obținută de către o centrală nucleară modernă. Totodată, se prezintă elemente comparative pentru prețul unui kilowatt putere instalată, astfel : la un aeroagregat de 120 kW montat în Danemarca, prețul este de 2500 DM ; la o termocentrală instalată pe huilă este de 2000 DM, iar la o centrală nucleară de 3500 DM.

Interesează în mod special diversitatea modelelor constructive ale aeroagregatelor prevăzute cu ax orizontal. Normal, tehnologiile de construcții-montaj sînt în funcție de puterea centralelor eoliene și, totodată, de caracteristicile constructive, parțial menționate în tabelul 1.

Analizînd cu precădere metodele și tehnologiile adaptate pentru construcția și montajul aeroagregatelor, în special pentru unitățile cu puteri peste 300 kV, rezultă următoarele caracteristici :

A. Fundațiile sînt realizate majoritar în construcție monobloc turnate din beton armat.

B. Stîlpii de susținere sînt realizați constructiv în următoarele soluții :

a — tuburi cilindrice din oțel de diferite forme și diametre ;

b — tuburi din oțel și beton ;

c — construcții din beton prefabricat sau turnat.

Stîlpii de susținere ai agregatelor electrice se confecționează integral în ateliere de producție industrială la lungimile necesare, fiind protejați și prin vopsire în cazul realizării acestora din oțel. Aceștia ajung în medie la lungimi de 30—40 m, constituind însă o singură piesă unitară. Stîlpul astfel realizat se încarcă pe un trailer de mare dimensiune, cu care se transportă la locul de montaj [3, 4]. Tehnologia utilizată în asemenea caz este redată în figura 1.

Ridicarea stîlpilor de susținere se face, în majoritatea cazurilor, cu automacarale de mare capacitate, caracterizate printr-o mobilitate

sporită și rapiditate a ciclurilor de lucru, deoarece sînt acționate hidrostatic. Este important de reținut că amplasamentele acestor agregate sînt situate numai pe terenuri fără denivelări și cu acces ușor și sigur al utilajelor agabaritice de transport, precum și al celor de montaj. Situația este însă complet diferită dacă se impune montarea acestor stîlpi de susținere pe terenuri cu denivelări și obstacole caracteristice zonelor deluroase sau muntoase.

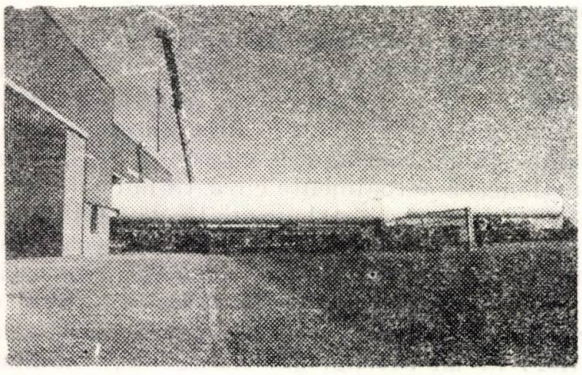


Fig. 1. Transportul stîlpului de susținere STORK—FDO — Olanda.

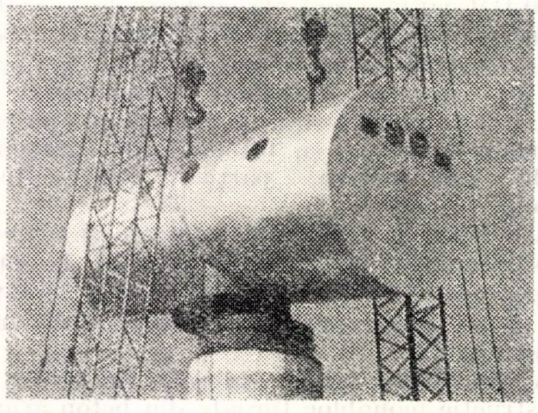


Fig. 2. Montarea nacelei 630 kW NIBE — Danemarca.

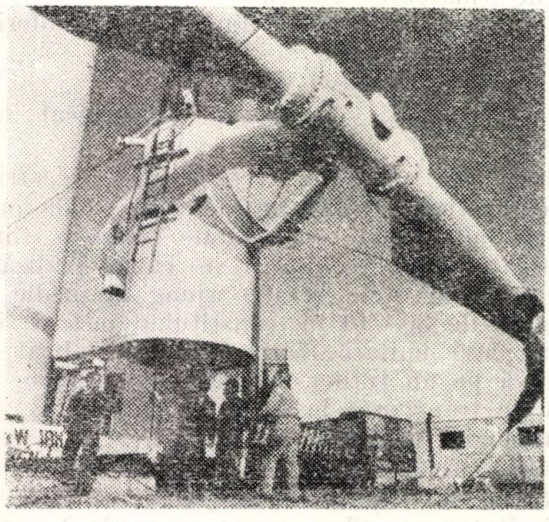


Fig. 3. Detalii de montaj al nacelei turbinei de 300 kW NEWECS—25 Olanda.

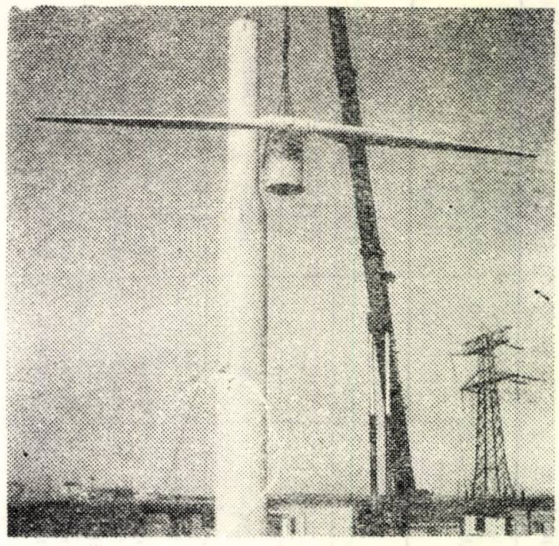


Fig. 4. Montarea turbinei eoliene de 300 kW complet echipate NEWECS-25 Olanda (detaliu).

C. Montarea grupului propriu-zis, adică a nacelei prevăzută în interior cu echipamentul mecano-energetic, dar fără montajul rotorului și paletelor. Această metodă se realizează cu ajutorul uneia sau mai multor automacarale (fig. 2) [5].

D. Montarea grupului eolian complet echipat, inclusiv rotorul și paletele. Procedeul tehnologic este utilizat, de exemplu, în cazul construcției aeroagregatului de 300 kW NEWECS—25 Olanda [3]. Detalii ale acestor tehnologii se prezintă în figurile 3 și 4. Metoda prevede realizarea montajului cu ajutorul unei automacarale de mare capacitate acționată hidrostatic.

E. Pe plan mondial sînt utilizate și alte procedee speciale, care implică tehnologii mai deosebite de construcții-montaj, dintre care vom prezenta în continuare următoarele :

a — ridicarea prin basculare a aeroagregatului complet echipat din poziția orizontală la sol în cea verticală, prin tracțiune cu ajutorul unor capre de montaj (fig. 5) [6, 7];

b — ridicarea componentelor începînd cu subansamblurile dispuse la cota superioară a stîlpului de susținere, adică a nacelei complet echipată, cu o tehnologie specială prin intermediul unei macarale portal construite din stîlpi cilindrici din oțel. În faza următoare ridicarea stîlpului de susținere se face tot cu ajutorul acestui portal. Desfășurarea fazelor de montaj este coordonată de către un calculator electronic de proces ;

c — tehnologia de montare a unui aeroagregat de 3 MW prototip realizat în orașul Maglarp — Suedia. Aceasta prevede ridicarea în prima fază a stîlpului de susținere, construit în formă de trunchi de piramidă, realizat din beton și fixat pe fundație. Pe o suprafață laterală a stîlpului sînt prevăzute vertical două profile metalice. Acestea servesc drept cale de rulare

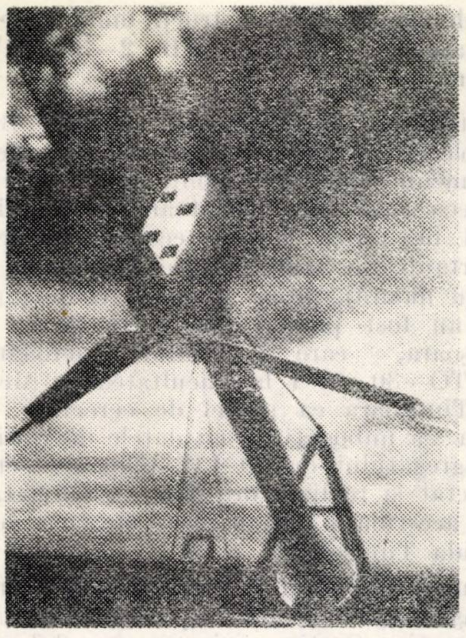


Fig. 5. Montaj prin basculare model H.W.P.—300 kW, Scoția.

a unei platforme ridicătoare. În fazele tehnologice următoare se montează succesiv, cu ajutorul platformei, subansamblurile grupului eolian, care sînt ridicate la partea superioară a stîlpului la o înălțime de 70 m;

d — tehnologia de construcții-montaj a aeroagregatului de 3000 MW model GROWIAN — R.F.G., care prevede în prima fază de montaj ridicarea stîlpului de susținere în poziție verticală. Înainte de fixarea acestuia pe fundație, el este introdus printr-un orificiu cilindric al construcției metalice aparținînd nacelei amplasate pe sol. Grupul eolian este susținut de construcții metalice ajutătoare, pentru al menține într-o poziție orizontală. Nacela este prevăzută în interior cu întreg echipamentul mecano-energetic, avînd montat totodată rotorul cu cele două palete. În faza următoare, prin intermediul echipamentului de liftare, nacela se ridică în poziția de lucru, fiind glisată pe exteriorul stîlpului metalic de susținere pînă în partea superioară. Tehnologia utilizată este pretențioasă, implicînd un grad ridicat de tehnicitate.

S-au prezentat în acest capitol cîteva din procedeele tehnologice necesare construcției aeroagregatelor. Sînt redate și tehnologii complexe, care se utilizează în cazul unităților de puteri mari. Din această analiză rezultă problematica tehnologiilor de lucru, diversitatea dotărilor utilizate, complexitatea lucrărilor de construcții-montaj. Procesele tehnologice trebuie stabilite în funcție de condițiile concrete ale amplasamentelor centralelor eoliene și ale nivelurilor de dotare. Se urmărește obținerea mecanizării complexe, în vederea realizării unor indicatori tehnico-economici corespunzători.

2. Condițiile de lucru pe muntele Semenic

2.1. Condiții meteorologice

Interesează în mod deosebit parametrii de asigurare ai vîntului pentru cotele de 30 și 40 m, care influențează direct caracteristicile diagramelor de lucru pentru utilajele de ridicat (automacarale), precum și condițiile de lucru necesare personalului tehnico-muncitoresc la aceste înălțimi pentru operații realizate în spații deschise.

Vitezele vîntului pot diminua sarcinile nominale de ridicare, lucru deosebit de important din punct de vedere tehnico-economic, precum și al asigurării măsurilor de protecție a muncii și tehnica securității personalului muncitor.

Precizăm că axul rotorului se află la cota de 32 m. Nivelul unor subansambluri manevrate la înălțime pentru operațiile de montaj se ridică pînă la cota de 45 m (de exemplu în cazul paletelor).

Datele de asigurare ale parametrilor vîntului la cota de montaj pe muntele Semenic se prezintă în tabelul 2.

Tabelul 2

Numărul mediu anual de ore vînt în funcție de viteză la cotele de 30 și 40 m

Asigurări (ore/an)	3 000		5 000		6 500	
Cota (m)	30	40	30	40	30	40
Viteza vîntului (m/s)	9,74	9,82	6,69	6,94	4,5	5,0

2.2. Condiții de acces și de transport pe Semenic

Șoseaua care leagă Reșița de stațiunea turistică Semenic are o lățime de 6 m, înregistrează pante accentuate, unele peste limitele normale, avînd un număr de 346 curbe, care aparțin drumurilor:

DJ 582 Reșița—Văliug—Prislop . 31 km
— DC 95 Prislop—Semenic . . . . 8 km

În parcurgerea acestora apar următoarele dificultăți:

1. La traversarea orașului Reșița, se limitează înălțimea de transport la maximum 4,5 m, datorită viaductului Combinatului Siderurgic și în viitor datorită liniilor de contact ale tramvaielor care se construiesc în prezent. În acest mod gabaritul de înălțime obținut este maximum 3,8 m (la care se mai adaugă garda de

la sol a trailerelor de 0,6 m). Acest lucru are influență hotărîtoare în adoptarea soluțiilor constructive și tehnologice ale stîlpului de susținere pentru viitoarele aeroagregate de 300 kW, care trebuie să aibă o altă tehnologie de montaj.

2. Multe din curbele DJ 582 pe anumite secțiuni, cum sînt de exemplu la km : 14+ 500; 15 + 800; 23 + 900 ș.a., au razele exterioare cuprinse între 13 și 17 m. Raza minimă admisă a unui remorcher + trailer de 40 t este de 22 m. Reiese greutatea și chiar imposibilitatea utilizării acestui mijloc de transport. Dificultățile menționate au condus la utilizarea unui autotractor ROMAN 19215 modificat și adaptat transportului stîlpului de susținere al modelului experimental care are o lungime de 18 m și o greutate de 27,5 t la care se mai adaugă dispozitivele de fixare și ancorare, aproximativ 0,5 t. Rezultă o greutate totală de 28 t. Aceasta depășește capacitatea maximă de transport a autotractorului 19215+ peridocul cu două axe, care are o capacitate admisă maximă de 25 t.

3. Șoseaua Văliug—Semenic este deseori circulată cu severe restricții din cauza ceței dense — persistentă deseori dimineața pînă la ora 10 și în orele serii.

Pentru transport cu tonaje și gabarite depășite în condițiile drumurilor spre Semenic sînt necesare măsuri speciale, în acord cu instrucțiunile MTTc 923/78 și Decretul privind Normele de circulație rutieră pe drumurile publice.

2.3. Condițiile necesare de organizare și viață

Stațiunea turistică Semenic cuprinde în principal cîteva hotele turistice și vile de odihnă cu anexele specifice acestora. Pentru muncă se impune asigurarea unei organizări corespunzătoare a activității de construcții-montaj, care revendică existența unei baze de producție. Aceasta trebuie să cuprindă în principal: spații de cazare, de preparare a hranei cu aprovizionarea necesară efectuată din municipiul Reșița; hală de construcții metalice care să efectueze lucrări în vederea întregirii subansamblurilor transportate în părți componente; spații de parcare și pentru întreținerea autoutilajelor; ateliere mecanice, laboratoare de încercări și probe PRAM, magazii, stații betoane ș.a.

În cazul derulării programului de construcție a circa 300 aeroagregate se impune construcția bazei, finanțată din investiții, care va deservi Electromontajul, iar progresiv activitatea de exploatare și întreținere. În final această bază de producție va fi preluată de către unitatea de exploatare.

3. Tehnologiile de construcții-montaj ale aeroagregatului AAETO—MD 2—300 kW pe Semenic

Antrepriza Electromontaj Sibiu — Brigada Complexă Timișoara nu a avut nici o experiență în domeniul executării montajului pentru a stabili cea mai corespunzătoare tehnologie din punct de vedere tehnico-economic. Elemente importante în stabilirea metodelor de lucru pentru montaj, probe și încercări de durabilitate au fost preluate în parte de la IPTV Timișoara, care a montat aeroagregatul AAETO—30—M 1 la Facultatea de Mecanică din Timișoara ca model de cercetare. Experiența s-a îmbogățit și cu datele de realizare a aeroagregatului de 20 kW pilot de cercetare proiectat și realizat de către CCSITEH. Montajul acestuia a fost în parte efectuat de către Brigada Timișoara.

Pentru stabilirea tehnologiilor de montaj al aeroagregatului model experimental, TAGEM București — Secția proiectare a elaborat un studiu privitor la variante privind mecanizarea acestor lucrări. Tehnologia de construcții-montaj elaborată de TAGEM a fost îmbunătățită și aplicată de către unitatea timișoreană, care a conceput, proiectat și realizat toate dispozitivele de lucru utilizate la aceste montaje. Prezentăm în continuare unele aspecte ale lucrărilor realizate, contribuții privind tehnologia de construcții-montaj a aeroagregatului AAETO—MD2 300 kW (prezentat în figura 6).

1. F u n d a ț i a. Soluția constructivă a prevăzut realizarea unei fundații din patru picioare. Săpătura a fost începută cu un excavator CASTOR P 603. La adîncimea de circa 0,5 m a apărut stîncă, necesitînd utilizarea altor mijloace. Astfel, în continuare s-au folosit ciocane de abataj tip CA 14, acționate pneumatic, și unelte electrice rotopercutante Ø 35 mm, pentru realizarea săpăturii pînă la cota de 4 m. Utilizarea piconului hidraulic P 400, adaptat la brațul excavatorului, sau folosirea dinamitării nu a fost permisă. Betonul utilizat, preparat mecanizat, a fost transportat cu CIFAROAM din Reșița pînă pe amplasamentul Semenic. Pentru a obține precizia dimensională corespunzătoare pentru fundația turnată a fost utilizată o ramă de turnat fundația — construcție metalică. Dimensiunile acesteia au fost stabilite corelat cu dimensiunile construcției metalice, a tetrapodului, executată de către ICM Bocșa. Dimensiunile acestei construcții metalice au fost măsurate pe fundațiile realizate, la montajul de probă, la organizarea Electromontaj din Doman — Reșița. Pentru a se evidenția precizia dimensională ridicată obținută la fundația turnată se prezintă în figura 7 una dintre fișele de măsurători ale dimensiunilor fundației recepționate pentru lucrările de montaj. Din această

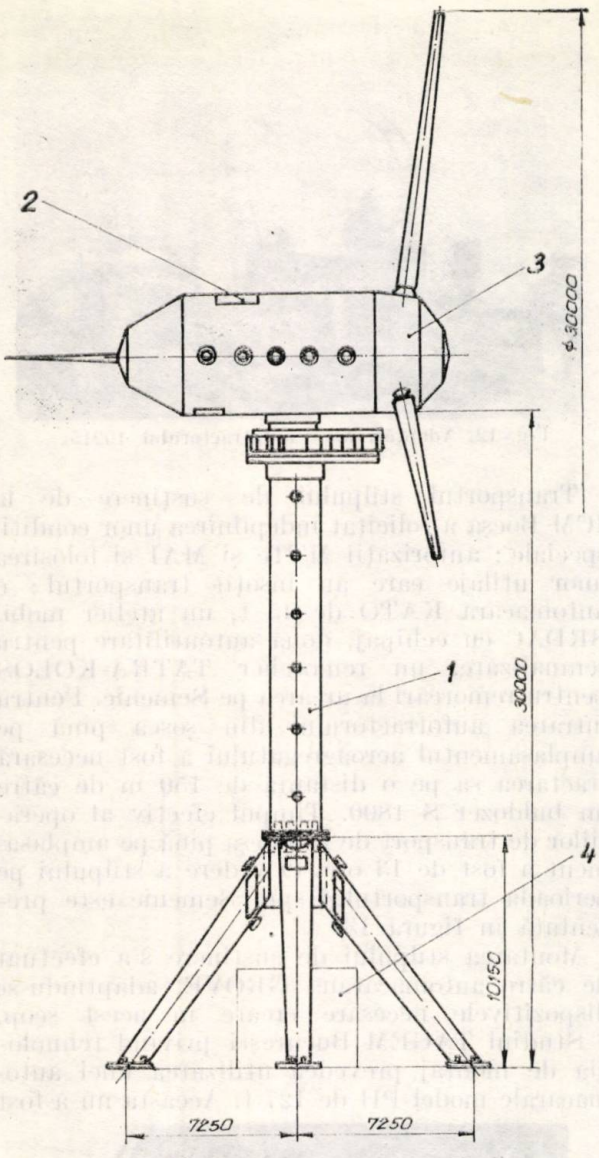


Fig. 6. Aeroagregat aeroelectric AAETO—MD 2—300 kW: 1 — structura de susținere; 2 — nacela echipată; 3—rotor cu palete; 4 — casa de comandă la sol.

fișă rezultă abaterile mici ale dimensiunilor măsurate, cum ar fi, de exemplu, distanța dintre picioarele nr. 1 și 3 la care există o abatere de 6 mm. Un picior de fundație prevăzut cu dispozitive de protecție ale buloanelor care servesc la fixarea flanșei tetrapodului se prezintă în figura 8.

2. Montarea tetrapodului. Tetrapodul este o construcție metalică, compusă din patru picioare, care sînt îmbinate la partea superioară cu un tronson central. Pe acesta se montează și fixează prin flanșe exterioare stîlpul de susținere, cu un diametru de 2200 mm. Acesta are în interior montată scara de acces a personalului la nacelă. Schema de montaj a acestei construcții metalice de susținere este prezentată în figura 9.

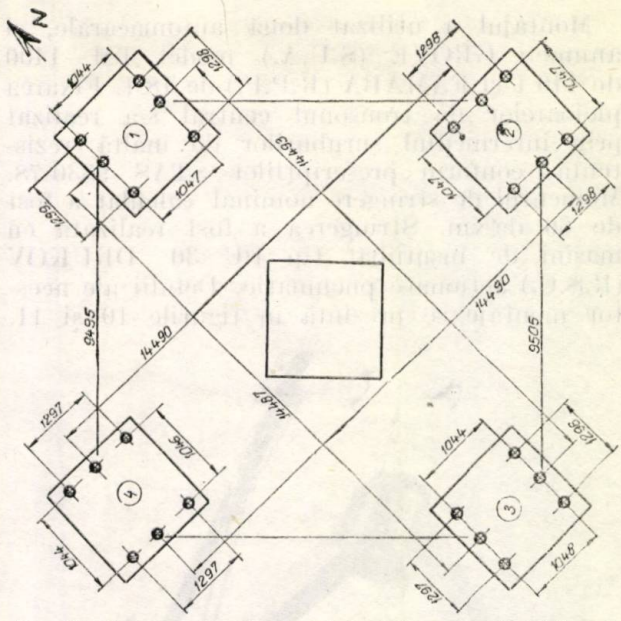


Fig. 7. Fișa de măsurători privind dimensiunile picioarelor de fundații turnate ale aeroagregatului de 300 kW realizate pe Semenic (22.09.1987); distanțe între buloanele M 42 pentru fixarea flanșelor interioare ale tetrapodului.

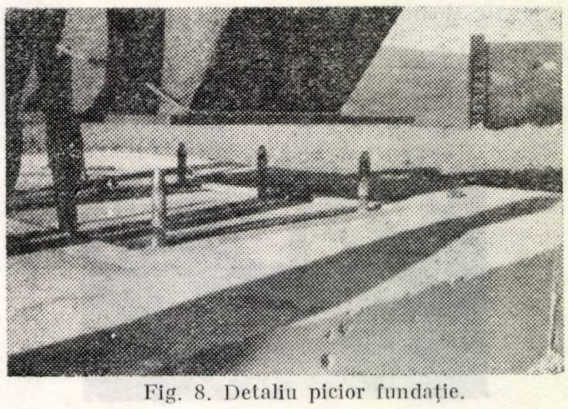


Fig. 8. Detaliu picior fundație.

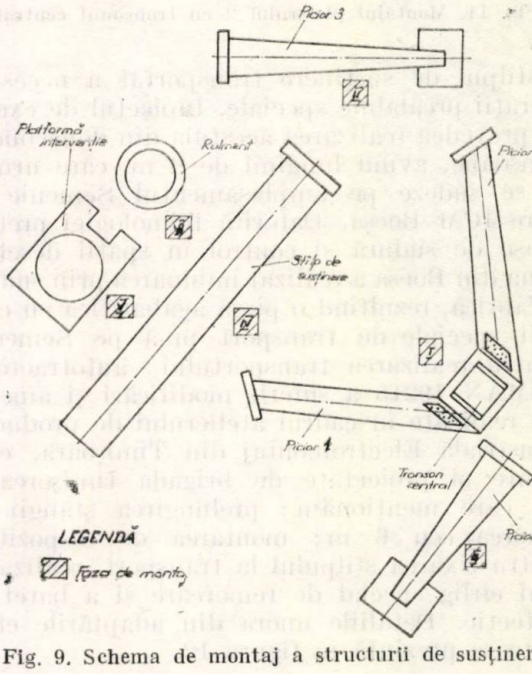


Fig. 9. Schema de montaj a structurii de susținere.

Montajul a utilizat două automacarale, și anume: GROVE (S.U.A.) model TM—1400 de 140 t și FAMABA (R.P.P.) de 18 t. Fixarea picioarelor de tronsonul central s-a realizat prin intermediul șuruburilor de înaltă rezistență, conform prescripțiilor STAS 9330-78. Momentul de strîngere nominal calculat a fost de 66 daNm. Strîngerea a fost realizată cu mașini de înșurubat tip PU 30 DRUKOV (R.S.C.) acționate pneumatic. Detalii ale acestor montaje se prezintă în figurile 10 și 11.

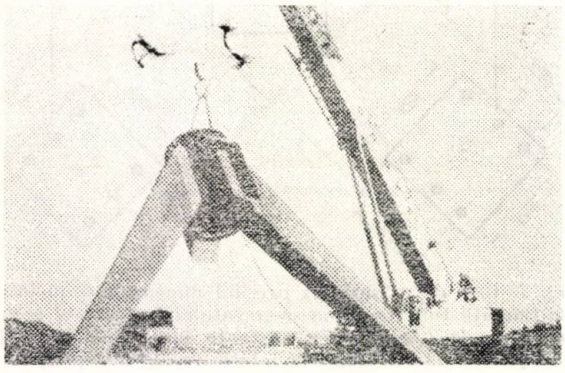


Fig. 10. Montajul picioarelor 1 și 3 cu tronsonul central.

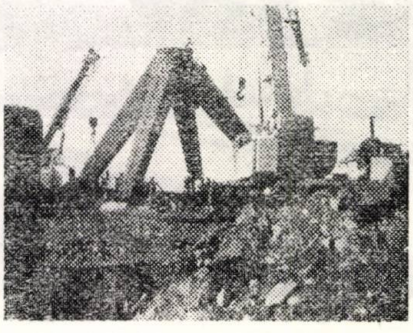


Fig. 11. Montajul piciorului 2 cu tronsonul central.

Stîlpul de susținere transportat a necesitat operații prealabile speciale. Proiectul de execuție prevedea realizarea acestuia din două bucăți tronsoane, avînd lungimi de 9 m, care urmau să se sudeze pe amplasamentul Semenic de către ICM Bocșa. Datorită tehnologiei pretențioase de sudură și control în spații deschise uzina din Bocșa a realizat îmbinarea prin sudură în fabrică, rezultînd o piesă agabaritică cu condiții speciale de transport pînă pe Semenic. Pentru realizarea transportului autotractorul ROMAN 19215 a suferit modificări și amenajări realizate în cadrul atelierului de producție industrială Electromontaj din Timișoara, concepute și proiectate de brigada timișoreană, din care menționăm: prelungirea ștangii de remorcaj cu 6 m; montarea de dispozitive pentru fixarea stîlpului la transport, realizarea unui cîrlig special de remorcare și a barei de protecție. Detaliile unora din adaptările efectuate se prezintă în figura 12.

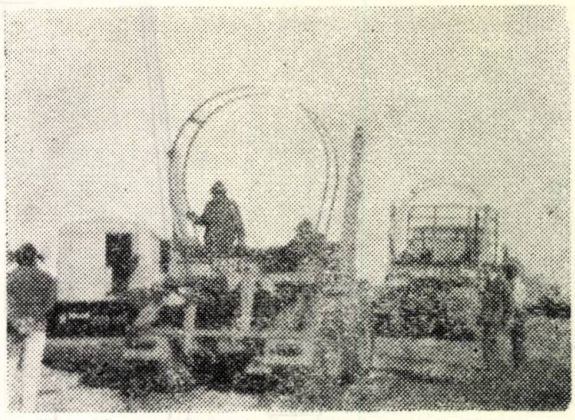


Fig. 12. Adaptări ale autotractorului 19215.

Transportul stîlpului de susținere de la ICM Bocșa a solicitat îndeplinirea unor condiții speciale: autorizații MTTc și MAI și folosirea unor utilaje care au însoțit transportul: o automacara KATO de 45 t, un atelier mobil SRDAC cu echipaj, două autoutilitare pentru semnalizare, un remorcher TATRA-KOLOS pentru remorcări la urcarea pe Semenic. Pentru intrarea autotractorului din șosea pînă pe amplasamentul aeroagregatului a fost necesară tractarea sa pe o distanță de 150 m de către un buldozer S 1800. Timpul efectiv al operațiilor de transport de la Bocșa pînă pe amplasament a fost de 13 ore. O vedere a stîlpului pe perioada transportului spre Semenic este prezentată în figura 13.

Montarea stîlpului de susținere s-a efectuat de către automacaraua GROVE, adaptîndu-se dispozitivele necesare create în acest scop.

Studiul TAGEM București privind tehnologia de montaj prevedea utilizarea unei automacarale model PH de 127 t. Aceasta nu a fost

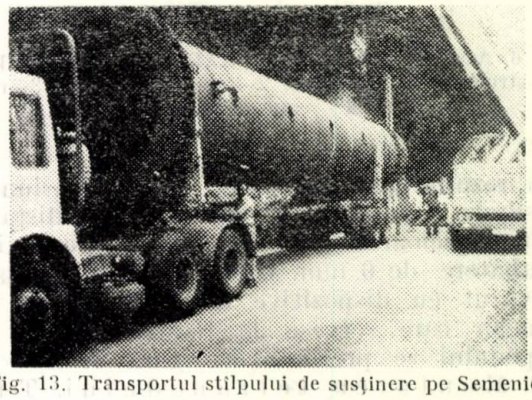


Fig. 13. Transportul stîlpului de susținere pe Semenic.

folosită deoarece montarea brațelor care se realizează prin bolțuri necesita platforme de montaj în lungime de 80 m, care degradau spații suplimentare de pășune și necesitau transportul brațelor și al contragreutăților din București pînă pe Semenic. Automacaraua GROVE a efectuat montajul într-un timp foarte scurt, neimpunînd platforme de montaj și transporturi suplimentare.

Menționăm că la o viteză a vîntului care atinge 32 km/h (8,8 m/s) sarcinile nominale și lungimile brațelor automacaralei GROVE trebuie reduse corespunzător. Din tabelul 2 rezultă că deseori vitezele vîntului sînt în medie apropiate de limitele admise de capacitatea automacaralei. Aceste viteze ale vîntului creează dificultăți tehnico-economice în aplicarea tehnologiilor de montaj, prin diminuarea posibilităților de lucru.

Desfășurarea acestui proces se prezintă în figura 14. Fixarea stîlpului a fost realizată cu ajutorul buloanelor filetate M 56, al căror

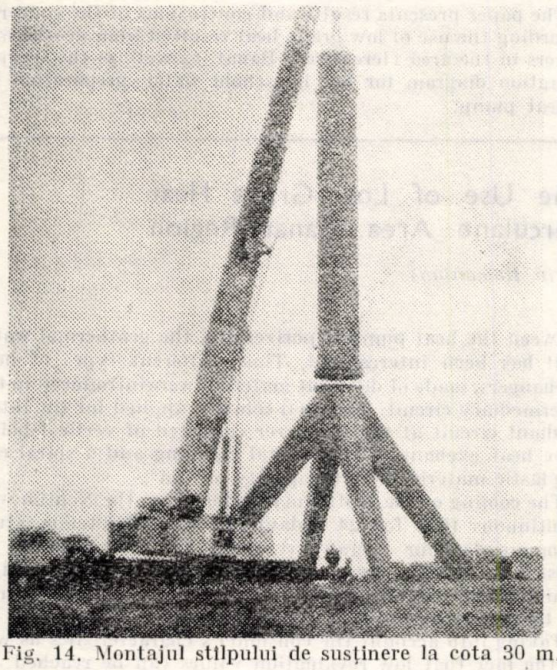


Fig. 14. Montajul stîlpului de susținere la cota 30 m.

moment de strîngere a fost verificat cu ajutorul unei chei dinamometrice acționate manual. Testările care se vor efectua pe modelele acestor aeroagregate, al celui experimental și al prototipului, vor permite acumularea experienței care să conducă la generalizarea programelor de construcții-montaj ale aeroagregatelor de 300 kW, la indicatori tehnico-economici superiori pe muntele Semenic.

Concluzii

Aplicarea tehnologiilor de C + M pentru realizarea aeroagregatului AAETO—MD2 — 300 kW, a stabilit o serie de elemente practice, o experiență deosebită, valoroasă, oferind concluzii utile la efectuarea montajelor pînă la cota de 30 m. Vor continua experiențele și la lucrările de montaj al nacelei, precum și la realizarea încercărilor de durabilitate pentru punerea în funcțiune.

În paralel, noile tehnologii cu parametrii tehnico-economici superiori sînt obiectul unui program amplu de studii și cercetări componente ale planului de tehnică nouă MEE—TAGEM—AEM Sibiu prin Brigada Timișoara. În acest sens redăm spre exemplu :

— utilajul de ridicat necesar pentru montajele de pe Semenic. În acest sens Institutul de Cercetări și Inginerie Tehnologică pentru Utilaje Miniere și Mașini de Ridicat din Timișoara a elaborat un studiu al variantelor de utilaje care pot realiza operațiile de ridicat pentru montajele aeroagregatelor pe Semenic, care va stabili tehnologia de aplicat la realizarea prototipului MEE. În paralel, TAGEM—secția proiectare întocmește un studiu tehnico-economic care va nominaliza varianta cea mai economică și corespunzătoare tehnic pentru montaj, care va fi avizată de către CTE al TAGEM și ISPH București.

— Institutul Politehnic „Traian Vuia" Timișoara are în continuare o contribuție activă în cercetările teoretice necesare elaborării tehnologiilor de montaj. Astfel Catedra de mecanică teoretică a elaborat metoda de echilibrare dinamică a rotorului. Catedra de mașini hidraulice a elaborat un studiu privind metode și dispozitive în vederea montării paletelor la cota 35 m pe Semenic. TAGEM secția proiectare — AEM Sibiu prin Brigada Timișoara va realiza în continuare dispozitivele necesare.

Bibliografie

[1] * * * Product guide — WIND TURBINES (1 kW and above). În : Modern Power Systems, Septembrie 1987 — Londra.

[2] W. Hess și W. Knapp *Aripi în vînt*. În : Bildende Wissenschaft : Energie aus Sonne und Wind — Septembrie 1987 — RFG.

[3] * * * *Wind energy systems — STORK — FDO — NEWECS — 25* Catalog 1986 — Olanda.

[4] Law H. și Cooper B. J. *Power transmission options for the 3 MW wind turbine.* — „G.E.C. ENGINEERING" nr. 2 1984 — Londra.

[5] * * * *The wind power program* — Catalog al Ministerului Energiei din Danemarca — Iulie 1980 Copenhaga.

[6] * * * *Lifting the Howden — HWP 300 into position at Burgar Hill* — Orkney Prospect J. Howden — 1986 — Scoția.

[7] * * * *Windenergiekonwerter* — Prospect — Köster Maschinenfabrik — Adler 25 — 1987 — Heide — Holstein.

[8] * * * *Technik aktuell* — *„ELO"* — 1982 — München.

(Primit la 20 iunie 1988, acceptat la 16 septembrie 1988)

Rezultate și concluzii privind valorificarea căldurii apelor geotermale de potențial termic redus din zona Banat-Herculane

Ing. ALEXANDRU FLORESCU, ing. CRISTINA PAVELESCU, ing. COSTEL CÎRSTEA, ing. ALEXANDRA SÎRBU*

CZ: 621.181.63

Lucrarea prezintă rezultate și concluzii privind modul de valorificare a geotermiei de potențial termic scăzut din zona Herculane—Banat, cît și schema funcțională specifică, destinată preparării apei calde de consum cu ajutorul pompei de căldură.

The paper presents results and conclusions of the concerns regarding the use of low grade heat resulted from geothermal waters in the area Herculane—Banat, as well as the specific operation diagram for hot household water preparation by a heat pump.

Results and Conclusions Regarding the Use of Low Grade Heat of Geothermal Waters from the Herculane Area, Banat Region

(Condensed from the paper in Romanian)

The basic idea of this research study intended to revaluate the hydrogeothermal resources of the Herculane area, Banat, is the good management of these resources, the upgraded use of their thermal potential which ensures a high competitivity of this energy type as compared to the classical solutions based generally on the primary fuels consumption.

The geothermal waters from the studied area are characterized by total different minerals' contents from a well to the other but in all the cases a high concentration of corrosive chemicals is to be remarked.

mong the geothermal wells, a special interest for the energetic use of its thermal potential was raised by the Neptun well; this one has an average flow rate of 0.08 m^3/s, with a high content of minerals, sulphurous water, the average yearly temperature is 50°C.

For the revaluation of the low grade geothermal heat an experimental test stand equipped with a heat pump GPCF-100.2 was set up. At the same time, because of the high corrosive activity of these waters an intermediary circuit between the heat pump vaporizer and the geothermal water well has been intercalated. Thus, different types of heat exchangers, made of different materials were introduced in the intermediary circuit. The final solution applied for the intermediant circuit at the vaporizer consisted of vertical boiler type heat exchangers with metal cladding and a spiral coil of plastic material with a capacity of 5 m^3.

The cooling of the geothermal waters from the Neptun well (continuous flow for 24 h/day) down to the temperature recommended for therapy ($t = 35 \div 37$°C) is achieved at present by yielding heat to the environment. The use of this available thermal potential for the heating of household water for the same user can lead to important fuel savings.

Taking into account the consumer's characteristics as well as the fact that low revaluation values can be reached for medium and high temperature heating, the utilization trend of hydrogeothermal resources of the Herculane area was directed towards household water preparation, preferably by the storage solution.

Considerații generale

Lucrările de cercetare în vederea valorificării resurselor hidrogeotermale în perimetrul Băilor Herculane — Banat au demarat în anul 1982, prin amplasarea în această zonă a unei pompe de căldură tip apă-apă cu compresor cu piston antrenat electric, cu capacitate termică unitară de 116,3 kW, funcționînd cu agent frigorific freon 12, GPCF — 100.2, construită la Întreprinderea „Tehnofrig" — Cluj Napoca.

Ideea care a stat la baza inițierii acestor lucrări de cercetare a fost aceea că, o bună gospodărire a resurselor hidrogeotermale, utilizarea la un nivel superior a potențialului lor termic, poate asigura o competitivitate sporită acestei forme de energie în raport cu soluțiile clasice bazate în general pe consumul de combustibili primari.

Apele geotermale din zona Herculane prezintă următoarele caracteristici fizico-chimice:

— debite variabile ale surselor, cu valori maxime pînă la 0,01 m^3/s și sursă;

— temperaturi diferite de la sursă la sursă, cu valori cuprinse în domeniul 20—60°C, cel mai frecvent fiind întîlnite valorile de 50—55°C;

— mineralizările totale ale surselor sînt de asemenea diferite de la un izvor la altul. În toate cazurile se observă, însă, o concentrație mare de substanțe chimice cu efecte corosive.

Avînd în vedere aceste elemente, s-au selectat mai multe izvoare care prezintă un interes special în utilizarea energetică a potențialului lor termic, dintre care, pentru realizarea unui stand experimental, s-a ales izvorul Neptun I + IV, care furnizează un debit mediu de

* Ing. Alexandru Florescu, ing. Cristina Pavelescu, ing. Costel Cîrstea — Institutul de Cercetări și Modernizări Energetice, București, ing. Alexandra Sîrbu — Institutul de Cercetare și Proiectare Aparataj pentru Instalații și Utilaje pentru Construcții, București.

0,008 m³/s, caracterizat printr-o mineralizaţie ridicată, apă sulfuroasă, la o temperatură medie anuală de 50°C.

1. Echipamente necesare amenajării standului experimental

Datorită puternicei acţiuni corosive a apelor geotermale, s-a impus necesitatea introducerii unui circuit intermediar între vaporizatorul pompei de căldură GPCF—100.2 existente şi izvorul de apă geotermală.

Aceasta reprezintă, în condiţiile date, unica soluţie de protecţie a echipamentului, evitîndu-se astfel indisponibilitatea agregatului de pompă de căldură pe perioada de timp necesară înlocuirii fasciculelor vaporizatorului şi reumplerii circuitului de freon. Ca urmare s-au introdus în circuitul intermediar schimbătoare de căldură cu plăci din oţel inox tip TRAP 6 (dimensiunea plăcii 960 × 250 mm) produse de Întreprinderea „Tehnofrig" Cluj-Napoca. În pofida comportării bune din punctul de vedere al transferului termic, care a condus la valori ale coeficientului global de transfer de căldură situate între 900—1198 W/m² K (corespunzătoare asigurării unui debit de agent termic secundar — apă încălzită — în jur de 0,0011 m³/s schimbător, cu temperaturi de circa 25°C), acestea nu s-au dovedit competitive din punctul de vedere al rezistenţei la coroziune. Nici primul lot de schimbătoare de căldură cu plăci, neîmbunătăţit, nici următorul lot, căruia i s-au adus îmbunătăţiri (aplicarea la suprafaţa plăcilor a unui strat protector de crom prin efectuarea unei acoperiri electrochimice) nu s-au comportat satisfăcător, plăcile fiind corodate şi chiar străpunse după o utilizare relativ scurtă (de ordinul lunilor). S-a constatat o acţiune puternic corosivă şi a aerului atmosferic, care a produs serioase stricăciuni garniturilor de cauciuc dintre plăcile schimbătorului de căldură.

De aici a rezultat necesitatea orientărilor către alte tipuri de materiale rezistente la coroziune. Ca urmare, s-a construit un nou stand de probă, în imediata apropiere a pompei de căldură, unde au fost testate experimental, pe rînd, mai multe tipuri de schimbătoare de căldură, şi anume:

a. *Schimbător de căldură tip IPB cu 7 ţevi — din Am Ø 16 × 1 placat cu răşină epoxidică*

Un prim set de măsurători efectuate în condiţii de laborator, care le simulează pe cele reale, a condus la coeficienţi globali de transfer termic cu valori ridicate cuprinse între 698—1396 W/m² K, corespunzătoare regimurilor studiate, caracterizate de asigurarea unui anumit debit de agent termic secundar (apă încălzită) cu temperaturi între 30—19°C, în condiţiile unei temperaturi de intrare a apei reci de 14°C. Însă comportarea total nesatisfăcătoare a acestui tip de schimbător de căldură pe standul de probe de la Băile Herculane a scos total din discuţie acest model experimental. După o funcţionare de circa 2 600 ore s-au constatat efecte dezastruoase, datorate aerului atmosferic corosiv, la suprafaţa mantalei, pe care s-au produs exfolieri de răşină epoxidică în proporţie de 75%, cît şi apei geotermale corosive, la exteriorul fasciculului de ţevi de pe suprafaţa cărora răşina epoxidică a fost distrusă în proporţie de 90%. După spălarea fasciculului de ţevi se observă zone în care stratul de protecţie este poros, acest aspect apărînd în special în zonele în care ţevile se apropie între ele, stratul de protecţie distrugîndu-se datorită frecărilor provenite din vibraţiile ce apar între ţevi în timpul funcţionării. În acelaşi timp, la interiorul ţevilor de alamă, udate de agentul termic secundar — apa potabilă — se observă depuneri de piatră.

b. *Schimbător de căldură cu 7 ţevi Ø 16 × 2 din polipropilenă şi manta din ţeavă Ø 75 × 7 din polipropilenă*

c. *Schimbător de căldură cu 17 ţevi Ø 16 × 2 din polietilenă de înaltă densitate şi manta Ø 110 × 10 din polietilenă de înaltă densitate*

Ambele schimbătoare de căldură au fost testate, practic, în paralel pe standul de probe al laboratorului ICPAIUC-Bucureşti, în condiţii ce le simulează pe cele din amplasamentul de la Băile Herculane. Măsurătorile efectuate au condus la obţinerea valorilor coeficienţilor de transfer termic global de circa 93 W/m²K şi respectiv 116,3 W/m² K, în condiţiile aceloraşi debite şi temperaturi iniţiale pentru agenţii termici primar şi secundar, corespunzător asigurării temperaturii de 17°C şi respectiv 24,4°C, pentru apa caldă de consum (agentul termic secundar), în varianta unei temperaturi de intrare de circa 14°C pentru apa de reţea. Aşa cum era de aşteptat, pe standul de probe din amplasamentul de la Herculane, după o funcţionare de circa 2 000 ore, echipamentele au confirmat rezultatele din laborator, dovedind în acelaşi timp o comportare bună din punctul de vedere al rezistenţei la coroziune, constatîndu-se şi lipsa depunerilor de piatră la ambele schimbătoare.

În urma analizelor făcute privind modul de rezistenţă la acţiunea corosivă a apelor geotermale a schimbătoarelor de căldură studiate, cît şi comportarea lor din punctul de vedere al transferului termic, s-a adoptat ca soluţie pentru circuitul intermediar la vaporizator schimbătorul de căldură tip boiler vertical cu manta metalică şi serpentină elicoidală din material plastic cu capacitate de 5 m³ (fig. 1).

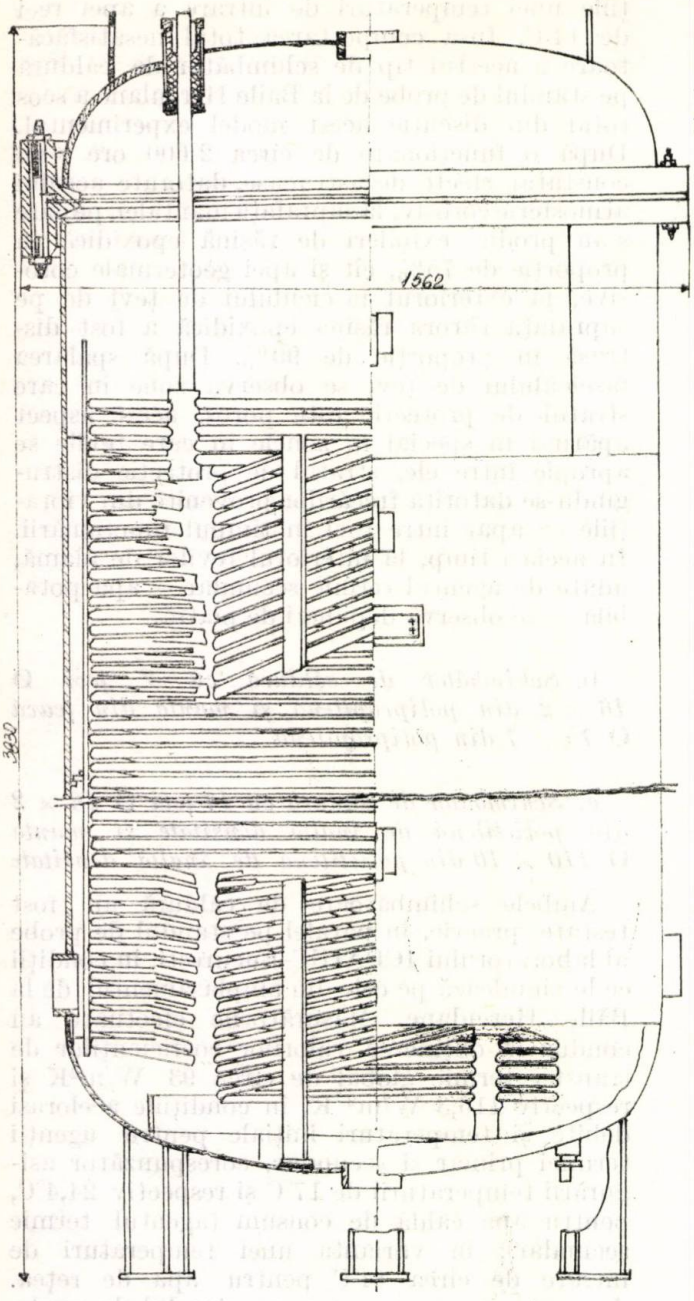


Fig. 1. Boiler vertical cu serpentină elicoidală din polietilenă de înaltă densitate.

Acesta are în interiorul mantalei zece serpentine elicoidale din polietilenă de înaltă densitate (tub cu dimensiunile Ø 16 × 2) prin care circulă apa geotermală (agent termic primar), care în acest fel nu vine în contact cu suprafața metalică a boilerului, garanție a unei durate lungi de viață. Acest tip de schimbător de căldură, prin construcția sa geometrică, prezintă avantajul unei suprafețe mari de transfer de căldură (23,818 m^2), precum și comportarea bună față de apele geotermale agresive. Dimensiunile de gabarit relativ reduse (H = 3,83 m, Ø = 1,56 m) facilitează amplasarea la locul de utilizare, asigurînd o capacitate efectivă de acumulare a apei calde de 4,88 m^3.

Ținînd cont de valorile relativ reduse ale resursei, precum și de natura suprafeței de transfer (polietilenă de înaltă densitate, cu performanțe scăzute de schimb de căldură) nu se întrevede posibilitatea obținerii unei valori ridicate pentru coeficientul global de transfer de căldură K. La aceasta se adaugă și viteza de circulație a agentului cald care nu poate fi mult mărită din considerente hidraulice, limitîndu-se la valori în jur de 0,001 m^3/s.

În aceste condiții, un prim set de măsurători efectuate în condiții de laborator a condus la coeficienți globali de transfer de căldură relativ modești 116,3—151,2 W/m^2K, totuși nu foarte îndepărtați de valorile uzuale (de circa 186 W/m^2K) pentru schimbătoarele de căldură de acest tip cu țevi din metal. Aceasta corespunde asigurării unui debit continuu de $0,4 \cdot 10^{-3}$ m^3/s apă caldă de consum cu temperatura de 40°C, după perioada de acumulare de circa 4 ore, în condițiile unei temperaturi de intrare a apei reci de 14°C.

Experimentările efectuate au evidențiat necesitatea unor modificări constructive destinate înlocuirii îmbinărilor sudate, la elementele din material plastic, cu îmbinări filetate.

După efectuarea modificărilor constructive, testarea (care a avut loc în perioada iunie—octombrie 1987) a acestui tip de schimbător de căldură, la locul de utilizare — Băile Herculane, în condiții reale de funcționare, a condus la rezultatele finale cu privire la evoluția în timp a caracteristicilor de transfer de căldură, coroziune și rezistență mecanică, nu îndepărtate de cele obținute în laborator (în condițiile acelorași debite și temperaturi ale agenților termici primar și secundar). Se precizează că nu s-a constatat existența depunerilor de piatră la interiorul fascicolului de țevi elicoidale.

Acest schimbător de căldură prototip a fost proiectat de ICPAIUC București.

2. Schema funcțională a stației de pompă de căldură cu circuit intermediar la vaporizator

În vederea stabilirii soluției optime pentru sistemul experimental au fost studiate mai multe variante, ținînd cont de condițiile concrete ale amplasamentului ales :

— potențialul termic teoretic al resursei hidrogeotermale este de 732,7 kW, calculat în condițiile în care limita economică inferioară de răcire a apei geotermale este de 30°C ;

— existența unei pompe de căldură de capacitate termică unitară de 116,3 kW, disponibilă, în vederea realizării unei scheme de valorificare a resursei;

— consumatorul: s-au propus inițial complexul hotelier Hercules sau Pavilionul Hidroterapeutic 1, aflate ambele în apropiere de izvorul Neptun I + IV studiat, cît și de stația de rezervoare de stocare Neptun (de unde apa geotermală este distribuită la baza de tratament). Pentru ambele, consumul termic aferent este asigurat de centralele proprii, dotate cu cazane de apă caldă funcționînd cu păcură.

Ținînd seama de aceste considerente, cît și de faptul că se obțin valori coborîte ale cotei de valorificare în cazul încălzirii de medie și înaltă temperatură, se alege ca direcție de utilizare a resurselor hidrogeotermale din zona Băilor Herculane prepararea apei calde de consum, fiind preferată soluția cu acumulare.

Apa geotermală de la izvorul Neptun I + IV este furnizată timp de 24 h/zi cu un debit mediu orar de 0,008 m^3/s (691,2 m^3/zi). Răcirea apelor geotermale pînă la temperatura corespunzătoare utilizării în bazele terapeutice ($t_{bazin} = 35 - 37°C$), în prezent se realizează cu schimbătoare de căldură cu plăci (tip „Tehnofrig" — Cluj-Napoca, din oțel inoxidabil, a căror durată de viață este de circa 1200 h), pe seama cedării căldurii în mediul înconjurător. Utilizarea acestui potențial termic disponibil în scopul încălzirii apei de rețea destinate consumului de apă caldă sanitar-menajeră aferent consumatorului poate conduce la economii substanțiale de combustibil.

În alegerea amplasamentului definitiv și deci a consumatorului, s-a avut în vedere atît necesarul de apă caldă aferent fiecărui obiectiv, cît și spațiul avut la dispoziție pentru desfășurarea echipamentelor necesare.

În aceste condiții, limitați de spațiu, în cazul complexului hotelier Hercules, schema adoptată ar fi trebuit să utilizeze numai volumul de acumulare necesar stocării apei calde de consum existent în centrala termică (10 m^3). Aceasta ar fi determinat o funcționare intermitentă a instalației, producînd doar 60% din necesarul zilnic de apă caldă de consum la o temperatură medie de circa $t_{a.c.c.} = 50,5°C$, pentru care sînt necesare 4747480 kJ/zi, la o funcționare a pompei de căldură de 8 h/zi (livrînd apă caldă de consum doar timp de 3 ore/zi). În aceste condiții s-a preferat această poziție numai pentru schema de punere în funcțiune a pompei de căldură.

Ca urmare s-a stabilit drept amplasament definitiv, pentru instalația de preparare a apei calde de consum cu pompă de căldură cu circuit intermediar la vaporizator, clădirea veche a rezervoarelor de stocare Neptun, actualmente dezafectată, situată în imediata vecinătate a

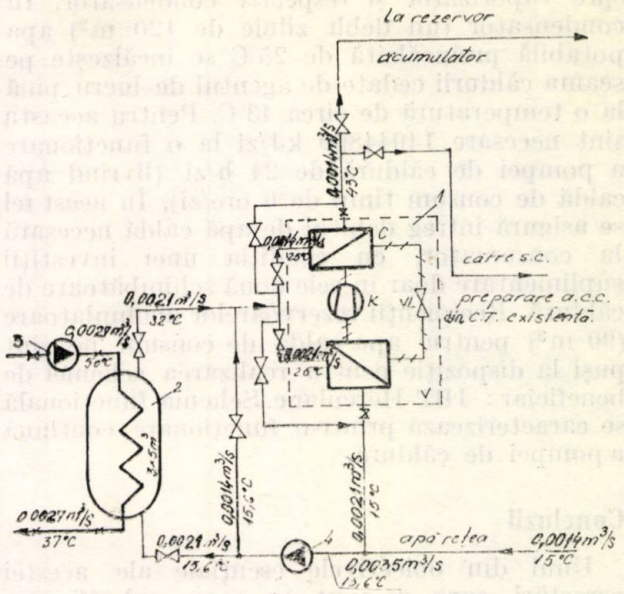


Fig. 2. Schema funcțională a stației de pompă de căldură cu circuit intermediar (cu trei schimbătoare de căldură) la vaporizator: —/—/— freon; —*—*— apă geotermală; —— apă potabilă; 1 — grup pompă de căldură: V — vaporizator; C — condensator; K — compresor; VL — ventil laminare; 2 — trei schimbătoare de căldură pentru circuitul intermediar al vaporizatorului; 3 — pompă circulație apă geotermală; 4 — pompă circulație apă potabilă rețea.

consumatorului, Pavilionul Hidroterapeutic 1. Această poziție corespunde din punctul de vedere al spațiului, fiind suficient pentru amplasarea, manevrarea și curățarea tuturor echipamentelor necesare în schema de valorificare a geotermiei de potențial termic scăzut. Acest amplasament permite ușurința montajului conductelor de transport al agenților termici prin canalele termice deja existente.

Ținînd cont de necesarul de apă caldă al consumatorului de 100 m^3/zi la o temperatură $t_{a.c.c.} = 50°C$ și o durată de existență a consumului de 6 ore/zi (orele 8,00—14,00), s-a examinat posibilitatea răcirii în scop util a unui debit de apă geotermală $G_{ag} = 230,4$ m^3/zi. Schema funcțională a stației de pompă de căldură cu circuit intermediar la vaporizator (fig. 2) a fost elaborată ținînd seama de echipamentele necesare în amplasament și considerînd o temperatură medie anuală a apei de rețea de circa 15°C.

În ideea necesității realizării unei producții de serie a acestui tip de schimbător de căldură la un preț de cost mai coborît, s-a conceput o schemă în care circuitul intermediar la vaporizator cuprinde trei boilere legate în paralel. După aproximativ două ore de încălzire a apei de rețea acumulată există posibilitatea furnizării către pompa de căldură a unui debit de apă la temperatura de circa 32°C. Apa preîncălzită se combină cu apă de adaos pentru realizarea unui debit suficient (și o temperatură necesară) pentru a fi repartizat proporțional

spre vaporizator și respectiv condensator. În condensator (un debit zilnic de 120 m³) apa potabilă preîncălzită de 25°C se încălzește pe seama căldurii cedate de agentul de lucru pînă la o temperatură de circa 43°C. Pentru aceasta sînt necesare 14044800 kJ/zi la o funcționare a pompei de căldură de 24 h/zi (livrînd apă caldă de consum timp de 6 ore/zi). În acest fel se asigură întreg debitul de apă caldă necesară la consumator, cu condiția unei investiții suplimentare doar în cele două schimbătoare de căldură. Recipienții rezervoarelor acumulatoare (90 m³) pentru apa caldă de consum ne sînt puși la dispoziție pentru realizarea schemei de beneficiar: IBT-Herculane. Schema funcțională se caracterizează printr-o funcționare continuă a pompei de căldură.

Concluzii

Unul din obiectivele esențiale ale acestei cercetări care a avut ca scop valorificarea resurselor hidrogeotermale, a constituit-o soluționarea problemei de rezistență a echipamentelor folosite la acțiunea puternic corosivă a apelor geotermale. Această acțiune a fost materializată prin realizarea modelului experimental al schimbătorului de căldură tip boiler vertical, cu serpentine elicoidale din polietilenă de înaltă densitate, a cărui comportare corespunde necesităților atît din punctul de vedere al rezistenței la coroziune, cît și al transferului termic. Ca urmare, s-a propus asimilarea acestuia în fabricație de serie, în vederea utilizării sale în toate cazurile similare din punctul de vedere al agresivității apei din circuitul primar și al capacității lor termice necesare.

Finalizarea acestei cercetări a constat în elaborarea unei scheme funcționale specifice de valorificare a căldurii apelor geotermale în scopul preparării apei calde de consum, a cărei punere în operă este în curs. Schema propusă nu afectează sub nici o formă funcționarea centralei termice, fiind complet separată, realizînd doar degrevarea acesteia de prepararea apei calde de consum pe o perioadă a anului de 350 zile, restul de 15 zile fiind acordat reviziilor, reparațiilor etc.

Analiza comparativă efectuată pe baza criteriului economiei nete de combustibil primar a soluției adoptate, în raport cu soluția clasică, a evidențiat, considerînd contribuția întregului sistem la prepararea apei calde de consum, economii de combustibil de 135 tcc/an.

Din calculele efectuate, ținînd cont de structura cheltuielilor anuale de exploatare, în soluția propusă se obține un preț al energiei termice livrate la utilizator de $71 \cdot 10^{-6}$ lei/kJ.

Durata de recuperare din economiile de combustibil a investițiilor necesare în scopul realizării schemei de valorificare a căldurii apelor geotermale de potențial termic redus în vederea preparării apei calde de consum este de circa 4 ani.

(Primit la 14 iulie 1988, acceptat la 22 octombrie 1988)

Instalație aerogeneratoare autonomă de 7 kW

Ing. EMILIAN ZAIDES, ing. LIANA OLAR, ing. ADRIAN RADU *

Descriptori : energie eoliană, conversia energiei

CZ :621-311.24

Sursa electrică eoliană autonomă SEE—10 prelucrează energia vîntului prin intermediul unui rotor tripal și a unui generator sincron, cu stocare în baterie.

Palele sînt echipate cu un dispozitiv de modificare a geometriei, care extinde domeniul de viteze de vînt de funcționare.

The autonomous electric wind source SEE—10 uses the wind power by means of a three-blade rotor and a synchronous generator with battery storage.

The blades are equipped with a device enabling to change their geometry and extending the operating wind speed range.

Introducere

Respectînd tendințele mondiale privind realizarea unor turbine de vînt cu performanțe ridicate pentru conversia energiei vîntului în energie electrică și în țara noastră s-au desfășurat în ultimii 10 ani cercetări care au vizat concepția, proiectarea, realizarea și testarea de turbine de vînt, evitînd paralelismele între colectivele de lucru în ceea ce privește tipul și gabaritul instalației.

În Institutul de Cercetare Științifică și Inginerie Tehnologică pentru Electrotehnică accentul s-a pus pe realizarea unor turbine de vînt cu ax orizontal, de mică putere, destinate alimentării cu energie electrică a unor consumatori izolați.

Din analiza performanțelor instalațiilor de mică putere realizate în lume s-a ajuns la con-

* Ing. Emilian Zaides, ing. Liana Olar, ing. Adrian Radu — Institutul de Cercetare Științifică și Inginerie Tehnologică pentru Electrotehnică București.

cluzia că pentru aceste aplicații cel mai potrivit tip de turbină este cu ax orizontal, cu rotor ușor, rapid.

În acest context s-a căutat realizarea unei turbine de vînt care să satisfacă o serie de condiții inițiale :

— siguranță și fiabilitate mare în funcționare ;

— preț de cost cît mai scăzut ;

— folosirea la maximum a componentelor aflate în fabricație de serie.

În aceste condiții proiectul de execuție pentru acest aerogenerator a fost realizat de Institutul de Cercetări pentru Tehnologia Construcțiilor de Mașini — București.

1. Prezentare generală și aspecte particulare

Schematic, turbina de vînt SEE—10 este prezentată în figura 1.

Datele care au stat la baza proiectului sînt prezentate mai jos :

— puterea electrică, P_g 1—7 kW
— turație de funcționare generator, N_g 650—4300 rot/min
— tensiune generată, U_g 20,6—25,70 V
— putere nominală turbină, P_{NT} 12,5 kW
— turația nominală, N_{NT} 200 rot/min
— viteza vîntului la care se obține puterea nominală 11 m/s
— raport de multiplicare, i 8
— viteza minimă a vîntului, V_{min} 6,5 m/s

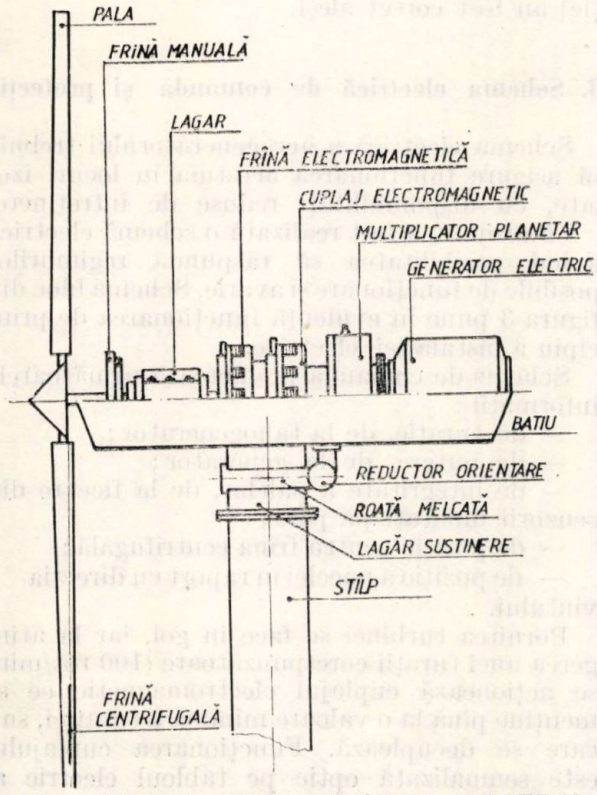


Fig. 1. Schema de principiu a turbinei de vînt SEE-10.

— puterea minimă furnizată de generator la V_{min}, P_{min} 1 kW
— randamentul aerodinamic al palei, $C_{v\,max}$ 0,3
— randamentul mecanic al lanțului cinematic 0,66
— rapiditatea palei 6
— tipul profilului palei Gö 624

În cele ce urmează vom trece în revistă principalele elemente componente, insistînd asupra elementelor mai puțin folosite la noi în țară în construcția turbinelor de vînt.

Generatorul electric este de tip GIV—160 fabricat de IMEB și asupra lui nu vom da nici un fel de date suplimentare.

Frîna și cuplajul electromagnetic folosite sînt din fabricația curentă a IM-Cugir.

Un rol esențial în funcționarea turbinei de vînt îl are rotorul acesteia ; începînd cu alegerea diametrului și profilului palelor pînă la materialul și tehnologia de realizare, toate au o influență hotărîtoare asupra performanțelor.

Astfel, un diametru mic asigură o viteză de rotație mare, deci o multiplicare de raport mic, nu asigură însă necesarul de putere la viteze de vînt mici, acest fapt ducînd chiar pînă la totala ineficiență a instalației.

Diametrele mari asigură demarajul la viteze de vînt scăzute ($V = 6$ m/s), asigură o producție mare de energie, dar implică costuri mai mari și încărcarea lanțului cinematic cu eforturi suplimentare.

Acest joc al puterii și turației cu diametrul funcție de viteza vîntului este prezentat în tabelul 1. Din analiza efectuată s-a optat pentru un diametru de 7 m. Legat de mărimea diametrului turbinei de vînt și de profilul palei

Tabelul 1

Prezumarea caracteristicilor turbinei de vînt

Diametrul	Caracteristici prezumate				Viteza vîntului la care $P = 7$ kW
	$N =$ = 650 rot/min		$N =$ = 800 rot/min		
	V [m/s]	P [kW]	V [m/s]	P [kW]	
$D_1 = 5$ m	3—4	0,2	4—5	0,3	13
$D_2 = 6$ m	4—5	0,4	5—6	0,7	11—12
$D_3 = 7$ m	5	0,8	6	1,4	10—11
$D_4 = 8$ m	5—6	1,5	7	2,9	9—10
$D_5 = 9$ m	6—7	3	8	5,4	8— 9

(Go 624) s-a ales lățimea palei de 0,3 m. Aceste valori asigură rotorului o soliditate de 8,2%, valoare proprie rotoarelor rapide.

Pentru realizarea unui rotor ușor și avînd o tehnologie simplă de fabricație, palele se vor executa din lemn, material care se impune tot mai mult în construcția rotoarelor turbinelor de vînt.

O altă soluție constructivă aleasă pentru simplitatea și eficacitatea ei este frîna centrifugală, montată în fiecare pală.

Dispozitivul în sine este foarte simplu (fig. 2).

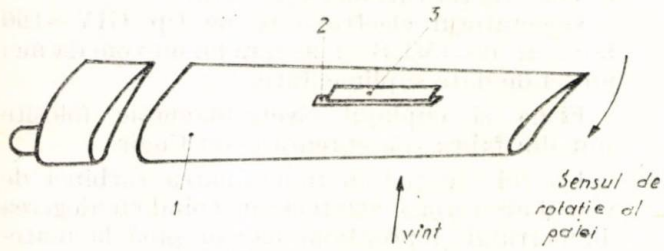


Fig. 2. Frîna centrifugală.

Frîna centrifugală

Funcționarea acesteia este următoarea: în pala 1 este practicat locașul 2 în care este pliată nervura 3.

În timpul funcționării la turație nominală nervura este pliată și menținută în locaș cu ajutorul unor resorturi; în cazul în care turația turbinei tinde să depășească turația limită admisă, nervura este centrifugată și iese din locaș; profilul aerodinamic al palei se deteriorează și atît cuplul preluat de la vînt, cît și turația palei diminuează.

Practic, cu o putere mică de acționare, dar cu efect aerodinamic foarte mare, se poate realiza protejarea întregii construcții; dacă în locul acționării centrifugale se folosește acționarea electrică, se poate realiza un reglaj fin de turație și putere. S-a adoptat această soluție și din dorința de a se evita realizarea palei cu unghi de atac variabil pentru reglajul turației și puterii turbinei.

Tot în ideea simplificării construcției s-a căutat să se realizeze orientarea turbinei în așa fel încît să se elimine inelele colectoare ce transmit energia electrică de la echipamentul mobil la partea fixă a instalației. Acest lucru se realizează cu ajutorul unei giruete care indică sensul deplasării turbinei față de axa stîlpului (stînga sau dreapta). La efectuarea unei rotații complete se sesizează capătul de cursă și cu ajutorul unui motoreductor melcat turbina este rotită cu 180° pentru a capta din nou vîntul.

2. Modele experimentale

Pentru că informațiile disponibile în literatură erau insuficiente pentru realizarea unei pale cu geometrie variabilă s-a recurs la realizarea unui model experimental de rotor la scara 1/4; pentru încărcarea în sarcină aacestuia s-a folosit un generator de curent continuu 24 V/16,5 A/800 rot/min.

Experimentările au fost făcute la tunelul aerodinamic subsonic de la INCREST, ai cărui specialiști ne-au sprijinit în realizarea lucrărilor propuse. Rezultatele experimentale sînt prezentate în tabelul 2.

Tabelul 2

Rezultatele experimentărilor în tunel aerodinamic

Nr. crt.	V [m/s]	N [rot/min]	M [Nm]	P [W]	U [V]	I [A]	Observații
1	6	630	2,7	171	24	2,5	pală fără spoiler
2	16	662	2,68	185	25	3	spoiler 125×7 mm
3	18,5	635	2,58	171	24	2,5	spoiler 190×7 mm

Aceste măsurători ne-au ajutat să definim exact mărimea frînei centrifugale pentru a satisface cerințele temei de proiectare pentru aerogenerator. Eficacitatea acestui dispozitiv este lesne de apreciat, iar construcția și acționarea sînt mult mai ușor de realizat decît în cazul palei cu unghi de atac variabil.

În plus, datele experimentale ne-au permis să tragem concluzia că parametrii inițiali de proiectare ai turbinei (putere, diametru, turație) au fost corect aleși.

3. Schema electrică de comandă și protecție

Schema electrică a aerogeneratorului trebuie să asigure funcționarea acestuia în locuri izolate, cu disponibilități reduse de întreținere.

Ca urmare, a fost realizată o schemă electrică avînd posibilitatea să răspundă regimurilor posibile de funcționare și avarie. Schema bloc din figura 3 pune în evidență funcționarea de principiu a instalației electrice.

Schema de comandă prelucrează următoarele informații:

— de turație, de la tahogenerator;
— de putere, de la generator;
— de integritate a palelor, de la fiecare din senzorii montați pe pale;
— de poziție pentru frîna centrifugală;
— de poziție a nacelei în raport cu direcția vîntului.

Pornirea turbinei se face în gol, iar la atingerea unei turații corespunzătoare (100 rot/min) se acționează cuplajul electromagnetic ce se menține pînă la o valoare minimă a turației, sub care se decuplează. Funcționarea cuplajului este semnalizată optic pe tabloul electric al turbinei.

Acţionarea frînei se face la atingerea valorii maxime admisibile a turaţiei, la ruperea unei pale, la căderea tensiunii de alimentare a schemei de comandă sau manual. Funcţionarea frînei este semnalizată optic şi acustic. Pentru

Cu aceste ipoteze, aplicate pe cazul concret :
— puterea electrică nominală de 7 kW ;
— costul instalaţiei cuprins între 200 000 şi 310 000 lei ; şi luînd în considerare un amplasament avînd 900 ore/an de vînt cuprins între

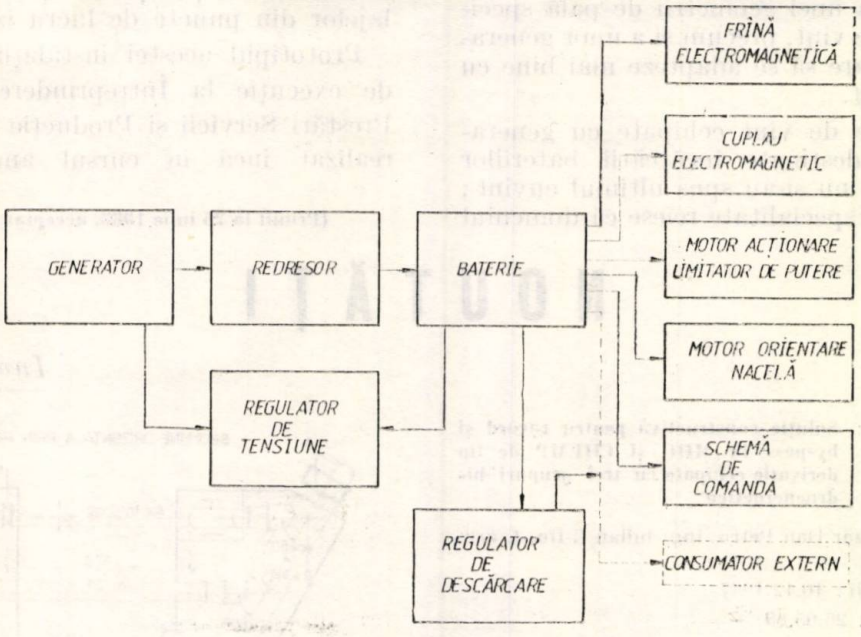


Fig. 3. Schema bloc a instalaţiei electrice.

o mai mare siguranţă în funcţionare circuitul de comandă a frînei este alimentat direct din baterie.

După înlăturarea defectului, la repornirea turbinei, decuplarea frînei se face manual; totodată la acţionarea frînei se inhibă comanda de retur a frînei centrifugale. În cazul în care acţionarea se face electric, dispozitivul de frînare de pe pale este acţionat pe baza unui discriminator de sens şi a două limitatoare de cursă ; pentru experimentări au fost prevăzute şi comenzi manuale. Intrarea în funcţiune a acestuia este semnalizată optic.

4. Estimarea caracteristicilor economice ale turbinei SEE—10

Această estimare are la bază următoarele ipoteze :

— pentru viteze de vînt mai mici de 6 m/s generatorul electric nu debitează energie ;

— pentru viteze de vînt cuprinse între 6 şi 9 m/s generatorul electric debitează 50% din puterea nominală ;

— investiţia specifică este de cel mult 44 000 lei/kW ;

— costul maxim al energiei furnizate este de 3 lei/kW ;

— durata de recuperare a investiţiei să fie mai mică de 10 ani ;

— durata estimată de viaţă să fie de minimum 20 ani.

6—9 m/s şi minimum 400ore/an de vînt peste 9 m/s, au rezultat următoarele :

— producţia minimă anuală de energie este de 6500 kWh ;

— recuperarea investiţiei se poate face în 10 ani ;

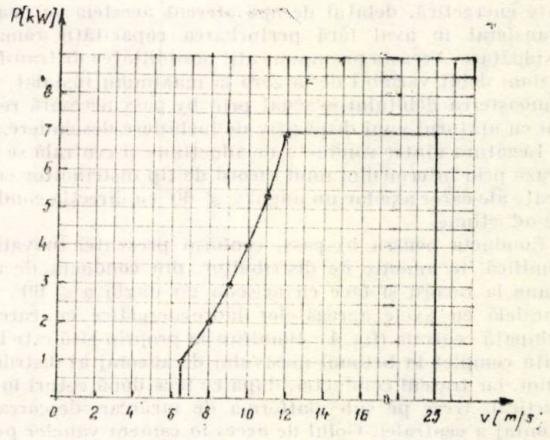


Fig. 4. Caracteristica prezumată P—V a turbinei.

— valoarea maximă a investiţiei pentru care instalaţia poate furniza energie la preţul de 3 lei/kWh este de 240 000 lei (34 000 lei/kW).

Caracteristica prezumată P—V a turbinei este prezentată în figura 4.

Concluzii

Pentru realizarea proiectului acestei turbine de vînt s-a căutat aplicarea celor mai noi realizări în domeniu. Problemele asupra cărora va trebui să ne concentrăm în viitorii ani vor fi legate de găsirea unei geometrii de pală specifică turbinelor de vînt, precum și a unor generatoare electrice care să se adapteze mai bine cu turbinele de vînt.

Aceste turbine de vînt echipate cu generatoare electrice destinate încărcării bateriilor de acumulatoare nu și-au spus ultimul cuvînt; din literatura de specialitate reiese că domeniul rămîne viabil pentru acele aplicații în care se dorește alimentarea unor consumatori izolați de rețeaua electrică.

Puterea electrică a turbinei SEE—10 o face aptă să furnizeze energie electrică pentru iluminat, încălzire, pomparea apei, alimentarea utilajelor din puncte de lucru izolate.

Prototipul acestei instalații se află în curs de execuție la Întreprinderea Județeană de Prestări Servicii și Producție Ialomița și va fi realizat încă în cursul anului 1989.

(Primit la 25 iulie 1988, acceptat la 16 septembrie 1988)

NOUTĂȚI

Invenții — Inovații

(54) Titlul inovației: **Soluție constructivă pentru racord și by-pass la MHC și CHEMP de tip derivație echipate cu trei grupuri hidroenergetice**

(72) Autori: ing. Lazăr Dan Petru, ing. Iulian C-tin, t. arh. Bădulescu C-tin

(22) Data înregistrării: 10.12.1987

(45) Data publicării: 26.05.88

(11) Certificat de inovator nr. 3835 eliberat de Ministerul Energiei Electrice

(73) Titular: Institutul de Studii și Proiectări Hidroenergetice

Inovația se referă la o soluție constructivă pentru racord și by-pass debit instalat la MHC și CHEMP de tip derivație echipate cu trei grupuri hidroenergetice.

Spre deosebire de soluțiile constructive cunoscute, care prezintă dezavantaje cu implicații economice și energetice importante, pentru dimensionarea și alcătuirea conductei pentru by-pas care face obiectul inovației, s-a avut în vedere situația în care, fiind scoasă din funcțiune o anumită capacitate energetică, debitul de apă aferent acesteia să poată fi transferat în aval fără perturbarea capacității rămasă în exploatare. Aceasta presupune atît posibilitatea de transferare a unui debit variabil de la zero la maximum instalat, cît și cunoașterea debitului evacuat prin by-pass necesară reglării lui cu ajutorul unui dispozitiv de închidere-deschidere.

Legătura dintre conducta de aducțiune și centrală se realizează prin intermediul unui racord de tip distribuitor cu trei brațe ale căror axe fac un unghi $\alpha \leqslant 60^\circ$ cu direcția conductei de aducțiune.

Conducta pentru by-pass, conform prezentei inovații, se ramifică, în amonte de distribuitor, din conducta de aducțiune la racord și face cu aceasta un unghi $\alpha \leqslant 60^\circ$, fiind paralelă cu axele agregatelor hidroenergetice cu care este echipată centrala (fig. 1). Ramificația propriu-zisă este înglobată complet în betonul masivului de ancoraj al distribuitorului, iar traseul conductei, după ce face două coturi în plan vertical, trece pe sub platforma de încărcare-descărcare și montaj a centralei. Golul de acces în camera vanelor pentru montarea sau demontarea acestora este acoperit cu un capac circulabil prefabricat, din metal sau beton armat, accesul personalului la vane pentru acționare făcîndu-se prin lateral, direct din sala mașinilor. Pentru operațiunile de montare sau demontare a vanelor se utilizează podul rulant din dotarea proprie a centralei.

Conducta pentru by-pass este prevăzută cu un robinet cu sertar paralel (STAS 1518/68) care permite reglajul debitelor evacuate, pentru by-pass debit total instalat fiind necesară o singură conductă prin care poate fi transferat în aval și debitul aferent unei anumite capacități energetice scoasă

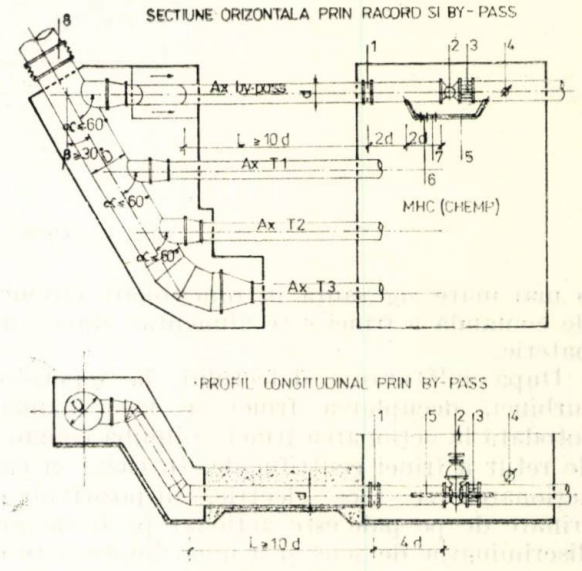


Fig. 1. Soluție constructivă pentru racord și by-pass.

accidental din funcțiune, fără perturbarea capacității rămasă în exploatare.

Pe traseul conductei pentru by-pass sînt înseriate: o diafragmă **(1)** pentru măsurarea debitelor evacuate, un robinet **(2)** cu sertar paralel, un compensator de montaj **(3)** cu presetupă și un manometru **(4)**. Pentru reglarea fină a debitelor evacuate se utilizează o derivație cu conductă de diametru redus **(5)** pe traseul căreia s-a prevăzut un robinet **(6)** cu sertar paralel și un compensator de montaj **(7)** cu presetupă. Cu **(8)** s-a notat compensatorul lenticular necesar preluării eforturilor date de variațiile de temperatură (fig. 1).

În concluzie, prin aplicarea inovației se rezolvă și problema cunoașterii exacte a debitului evacuat prin by-pass, necesară reglării lui cu ajutorul unor dispozitive de închidere-deschidere astfel ca, în situația în care este scoasă din funcțiune o anumită capacitate energetică, debitul de apă aferent acesteia să poată fi transferat în aval fără perturbarea capacității rămasă în exploatare, în vederea unei funcționări corecte și eficiente a centralei.

În prezent, soluția constructivă pentru racord și by-pass este inclusă în Catalogul de subansambluri tip cu soluții constructive pentru captări și derivații la MHC și CHEMP, urmînd să fie extinsă la proiectele tip de MHC și CHEMP echipate cu mai multe grupuri hidroenergetice.

Anton Ghitta
1900—1988

Născut la 7 noiembrie 1900 în orașul Baia Mare, județul Maramureș, a urmat liceul în acest oraș și apoi Institutul Electrotehnic al Universității din București, obținînd în anul 1924, diploma de inginer electrician.

Imediat după terminarea facultății este angajat la Societatea de Gaz și Electricitate din București, cea mai importantă întreprindere de producere și distribuție a energiei electrice în perioada interbelică, unde a activat pînă în anul 1948, ocupînd următoarele funcții: între anii 1924—1938 a fost șef adjunct al CDE Filaret—București, luînd parte la extinderile treptate ale acestei centrale pînă la unități de 8000 CP, cele mai puternice instalate atunci în Europa, iar între anii 1938 și 1948 a funcționat ca șef de exploatare al CHE Dobrești, de pe rîul Ialomița, cea mai mare centrală hidroelectrică din țară în perioada interbelică.

Cele două funcții i-au dat o mare experiență în conducerea exploatării de centrale electrice.

După anul 1948 a activat în cadrul Ministerului Energiei Electrice:

— între 1948—1951 ca șef al serviciului centrale din cadrul ministerului;

— între 1951—1952 ca șef de serviciu la Întreprinderea Regională de Electricitate Cîmpina;

— între 1952—1969 ca șef de secție de proiectare la Întreprinderea Energoreparații București.

În toate unitățile menționate a desfășurat o activitate competentă și eficientă.

Concomitent, a elaborat și publicat, în colaborare cu alți specialiști, mai multe lucrări tehnice, și anume:

Repararea motoarelor cu ardere internă, București, Editura Tehnică, 1967;

Tehnologia recondiționării pieselor uzate, București, Editura Tehnică, 1968;

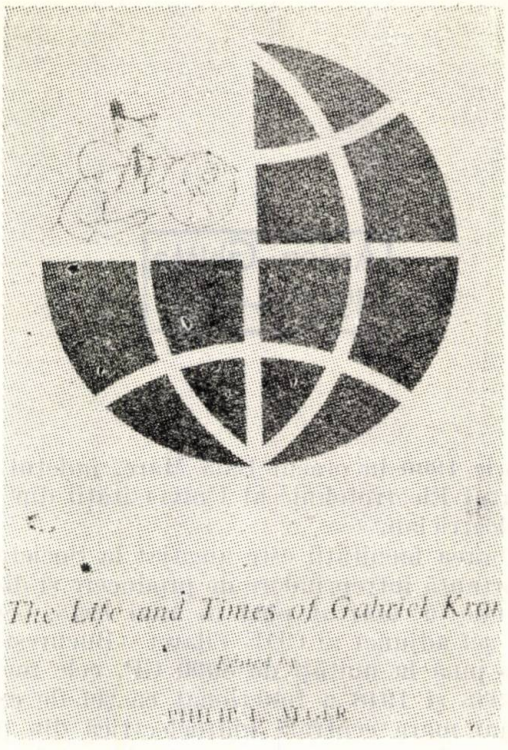
Istoria energeticii și electrotehnicii în România, vol. I, București, Editura Tehnică, 1980.

Activitatea în domeniul literaturii tehnice de specialitate este foarte bogată, cuprinzînd și articole publicate în revista Energetica, precum și mai multe lucrări de „perfecționare tehnică" între care *Măsuri pentru încercarea metalelor la uzură* (în colaborare).

În perioada petrecută ca elev al școlii elementare și al liceului din Baia Mare a avut coleg și prieten pe Gabriel Kron, care a devenit mai tîrziu specialist al Societății General Electric din S.U.A., *creatorul teoriei calculului matricial și tensorial al rețelelor electrice* ale cărui lucrări au fost traduse și în limba română. Sentimentele de prietenie reciprocă s-au menținut și după ce viețile lor s-au separat. După moartea lui Kron, editîndu-se în S.U.A. cartea *The Life and Times of Gabriel Kron (Viața și timpul lui Gabriel Kron)* a fost înserat în aceasta și un articol cerut lui Anton Ghitta (pe care îl reproducem în revista noastră) despre copilăria renumitului specialist.

Anton Ghitta s-a pensionat în anul 1969 și a decedat în 26 iunie 1988.

Vechiul meu prieten, G. Kron



Cînd am început şcoala elementară, atenţia mi-a fost atrasă de un băieţel bondoc, totdeauna vioi, plin de voie bună, avînd mereu de povestit sau de vorbit despre ceva. Acest băieţel, cu care m-am împrietenit, a devenit un renumit om de ştiinţă, a cărui personalitate de elev intenţionez să o prezint. În cele ce urmează voi încerca să schiţez copilăria şi tinereţea doctorului Gabriel Kron.

Am reuşit să ne păstrăm prietenia din copilărie, în ciuda faptului că ne-am despărţit devreme şi în ciuda întreruperii schimbului de corespondenţă în timpul războiului.

Gabriel Kron s-a născut la Baia Mare în anul 1901, fiind cel mai mic fiu al unui comerciant. Tatăl său, un om foarte cinstit, era sever şi distant, dar muncea cu dăruire pentru familia sa. De la mamă, Gabe a moştenit vioiciunea şi hotărîrea în luarea deciziilor. De cînd era copil, şi-a creat o imagine realistă despre lume şi a hotărît calea ce avea s-o urmeze în viaţă. De atunci cei care îl cunoşteau bine au înţeles că oraşelul său natal era prea strîmt şi că va veni o zi în care el va începe să-şi lărgească orizontul.

Pasiunea sa pentru cunoaştere s-a manifestat din timpul copilăriei. Învăţătorul nostru obişnuia să ne ceară planşe suplimentare la desen. Majoritatea desenelor realizate de Kron reprezentau hărţile diferitelor ţări, de pe toate continentele. Gabe era absolut convins că le va vizita pe toate. La gimnaziu a fost atras de studiul intensiv al fizicii şi matematicii, devotîndu-se acestor materii, precum şi astronomiei, stenografiei şi cunoaşterii limbilor germană şi engleză. Dacă vremea era frumoasă îşi alegea ca loc de studiu parcul oraşului. Era un mare admirator al peisajelor frumoase şi drumeţiile i-au făcut plăcere toată viaţa, permiţîndu-i să admire măreţia naturii. La 16 ani îmi mărturisea că în bibliotecile oraşului nu mai existau cărţi pe care să nu le fi citit. În pofida faptului că studia continuu, era foarte prietenos şi vesel şi ştia să savureze o glumă.

Vioiciunea şi buna sa dispoziţie nativă au fost evidenţiate şi de următoarea întîmplare. Înaintea primului război mondial, moda impunea ca bărbaţii să poarte baston. Astfel bărbaţii ieşeau la plimbare cu bastonul, pe cînd liceenilor li se interzicea aceasta. După terminarea gimnaziului, prima preocupare a celor tineri era să se plimbe pe strada principală a oraşului, mîndrindu-se cu bastoanele lor noi.

În ziua ultimului examen, Gabe a ţinut ascuns sub bancă „bastonul de bărbat". După ultima întrebare, profesorul a văzut cu uimire cum Gabe a apucat bastonul minunîndu-l cu o îndeminare de artist de circ şi a ieşit din clasă pentru a face prima „plimbare ca bărbaţii".

Prietenul meu era atît de spiritual şi strălucitor, încît a reuşit să scoată o revistă satirico-umoristică proprie.

Curînd după absolvirea liceului, Kron a plecat în S.U.A.

L-am revăzut la Bucureşti în primăvara anului 1928, cînd a venit la mine acasă chiar după ce încheiase o călătorie în jurul lumii. Din punct de vedere financiar era distrus şi îmbrăcămintea sa dovedea condiţia materială precară în care

My Old Friend G. Kron

I was just beginning my first elementary school when my attention was attracted by a plump boy, always lively, always joyous, having something to tell about or to chat on. This boy, who became my friend, came to be also the famous scientist, whose personality as a schoolboy I will try to present. In what follows I will attempt to sketch out the childhood and youth of Dr. Gabriel Kron.

I have had the chance to preserve our childhood friendship, despite our early separation, and despite the intermission of our correspondence brought about by the war.

Gabriel Kron was born in Baia Mare in 1901, as the youngest son of a merchant. His father, a very honest man, was severe and aloof, but he was working devotedly for his family. From his mother, Gabe inherited the vivacity of his character and the strength of his resolutions. When still a boy he grasped a realistic view of the Weltanschauung, and he decided the way he should follow in life. At that time people knowing him well understood quite clearly that for him the environment of his home town was too confined, and that a day would come when he would act to broaden his horizons.

His passion for knowledge became visible when he was only a little boy. Our teacher was accustomed to ask for supplementary drawings. The greatest number of these drawings were made by Kron, and they always represented geographical maps of different countries, taken from all the continents. Gabe was quite sure he would soon pay a visit to see each of them. When at the gymnasium he was attracted to study intensively physics and mathematics, and he devoted himself to these topics and also astronomy, stenography, and the English and German languages. If the weather was fine his learning place was chosen to be the park of the town. He was a great admirer of beautiful landscapes, and through his whole life he preserved the pleasure of hiking, enabling him to face directly the magnificence of nature. When he was 16 years old he confessed to me that there were no more books in the libraries of the town left for him to read. In spite of his continuous studies, he was very friendly and cheerful, and at the same time one who enjoyed jokes.

His vivacity and natural good humor are well illustrated by the following story. Before the first world war fashion called for a man to have a cane. Thus, gentlemen taking their walks were always provided with canes, while gymnasium boys were forbidden to carry them. When gymnasium was over the first preoccupation of the young was to take a walk on the main street of the town, brandishing their new canes.

On the day of his last examination, Gabe kept hidden under his desk "the man stick". When the last question was over, the teacher was stupefied to see, among a general hilarity, Gabe brandishing his cane with the performance of a circus artist, and leaving the classroom to take his first "man-walk".

So vivid and brilliant was my old friend Gabe that he demonstrated his views by printing a humorous satirical review. Soon after the completion of his Gymnasium courses, he went to the U.S.A.

I saw him again in Bucharest, in the spring of 1928, when he came to my home just after finishing his great world

ajunsese. Fața bronzată și strălucirea din priviri arătau însă imensa satisfacție de a fi văzut și de a fi învățat o mulțime de lucruri.

A rămas în România vreo jumătate de an, timp pe care l-a folosit pentru perfecționarea cunoștințelor în domeniul matematicii. Atunci mi-a spus : „Sînt absolut convins că în profesiunea noastră este greu să faci ceva important fără cunoștințe vaste în domeniul matematicii".

În orașul său natal a întîlnit-o și pe aceea care avea să-i devină soție și prieten credincios de o viață.

L-am întîlnit din nou în anul 1932, înainte de a se întoarce pentru a doua oară în S.U.A. și mi-a apărut ca un om care știe foarte bine calea pe care trebuie s-o urmeze. În anii care au urmat, a devenit faimosul om de știință, dr. ing. Gabriel Kron, consilier la Compania General Electric.

Există desigur oameni mai îndreptățiți decît mine să aprecieze meritele lui Kron în domeniul ingineriei și științei. Eu am vrut doar să subliniez că el a fost prietenul meu cel mai bun și că eu apreciez enorm prietenia sa.

ing. Anton Ghitta

journey. He was financially exhausted, and looking at his clothes gave a perfect testimony of his precarious condition but his suntanned face and his brightness showed his immense satisfaction in having seen and learned a great many things.

He stayed in Romania about half a year, time used continuously to improve his mathematical learning. He told me then "I am fully convinced that in our profession it is difficult to do anything important without a profound knowledge of mathematics".

In his native town he met too his future wife, the faithful companion of his life.

I met him again in 1932 for the last time before his returning for the second time to the United States, and he then appeared to me as a man knowing very well the way he would have to follow. In the years that followed he became the famous scientist Dr. Gabriel Kron, consulting engineer of the General Electric Company. There are of course others in a better position than mine for recognizing the engineering and scientific achievements of Kron. I wish only to point out that he was my very good friend, and I greatly valued his friendship.

Eng. Anton Ghitta

ERRATA

In the review Energetica No. 6 June, 1988, at page 242
— line 22 from above it should be read „... in the I-st or 4-th quadrant"
— line 13 from above it should be read „... whose end-points coincide with the end-points of a triangle whose gravity center is situated in the origin..."

СОДЕРЖАНИЕ

ЭНЕРГЕТИКА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДАРИЯТИЙ

КОРНЕЛ УНГУРЯНУ, ИОАНА ИОНЕЛ: Возможности использования остаточных газов в промышленных целях 481—485

ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

МИХАЙ ТОМА: Проблемы, касающиеся эффективной эксплуатации микрогидроагрегатов, оборудованных горизонтальными турбинами типа Франсис 486—488

РОМУЛУС ВАТАУ, МИХАЙ СТОЙКАН, ПАУЛ ДИНЕСКУ: Аспекты, касающиеся проверки на месте качественных показателей микрогидроагрегатов, оборудованных турбинами типа ЕОС 488—490

АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

ГАБРИЕЛ РОМАШКУ, ИРИНА НЕКИТОАЙА, МИОАРА ГУЦУ: Планирование осуществления аварийных мероприятий при авариях АЭС 491—494

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ

ГАБРИЭЛ КИРИЦЭ, БОРИС БОРЕСКИЕВИЧ: Расчет яркости внутренних отражающих поверхностей с помощью метода коэффициента яркости 495—504

НОВЫЕ ИСТОЧНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ

АНТОН ГЫРБАЧА: Монтаж ветроэлектрических установок 300 кВ на горе Семеник. Основные технологические аспекты строительно-монтажных работ 505—513

АЛЕКСАНДРУ ФЛОРЕСКУ, КРИСТИНА ПАВЕЛЕСКУ, КОСТЕЛ КЫРСТЯ, АЛЕКСАНДРА СЫРБУ: Результаты и выводы, касающиеся освоения тепла низкопотенциальных геотермальных вод в зоне Банат — Геркулане 514—518

ЭМИЛИАН ЗАЙДЕС, ЛИАНА ОЛАР АДРИАН РАДУ: Автономная ветроэнергетическая установка мощностью 7 кВт 518—522

НОВОСТИ

ИЗОБРЕТЕНИЯ—НОВАТОРСТВО.

ИЗ МИРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ 522

ПЕРСОНАЛИИ 523—525

INHALT

DIE ENERGIEWIRTSCHAFT IN INDUSTRIEBETRIEBEN

CORNEL UNGUREANU, IOANA IONEL: Über die Möglichkeit der energiewirtschaftlichen Bewertung der Restgase 481—485

WASSERKRAFTWERKE

MIHAI TOMA: Fragen des wirksamen Betriebs der mit FO-Turbinen versehenen Mikro-Wasserkraftwerks-Ausrüstungen 486—488

ROMULUS VATAU, MIHAI STOICAN, PAUL DINESCU: Die vor Ort Prüfung der Leistungen von mit EOS-Turbinen versehenen Mikro-Wasserkraftwerks-Ausrüstungen 488—490

KERNKRAFTWERKE

GABRIEL ROMAȘCU, IRINA NECHITOAIA, MIOARA GUȚU: Die Planung der Eingriffstätigkeit in Störungsfällen bei Kernkraftwerken 491—494

ELEKTRISCHE NETZE

GABRIEL CHIRIȚĂ, BORIS BORESCHIEVICI: Die Berechnung der Helligkeit der reflektierenden Innenoberflächen anhand der Methode des Helligkeitsfaktors 495—504

NEUE ENERGIEQUELLEN UND -VERFAHREN

ANTON GÂRBACEA: Die Montage der 300 kW Windanlagen in den Semenic Gebirge. Technologische Hauptaspekte der Bau- und Montagetätigkeit (mit einer Kurzfassung in Englisch) 505—513

ALEXANDRU FLORESCU, CRISTINA PAVELESCU, COSTEL CÎRSTEA, ALEXANDRA SÎRBU: Ergebnisse und Schlussfolgerungen zur Verbesserung der geothermischen Grundwässer tiefen Temperaturpotentials aus der Gegend Herkulesbad, Banat (mit einer Kurzfassung in Englisch) 514—518

EMILIAN ZAIDES, LIANA OLAR, ADRIAN RADU: Die selbständige 7 kW Windgeneratoranlage 518—522

NEUIGKEITEN

ERFINDUNGEN—NEUERUNGEN 522

DE PERSONIS 523—525

CONTENTS

ENERGY IN THE ENTERPRISES

CORNEL UNGUREANU, IOANA IONEL : About the Possibility to Use Residual Gas for Energetic Purposes 481—485

HYDROELECTRIC POWER PLANTS

MIHAI TOMA : Problems Regarding Efficient Operation of Horizontal Francis Type Turbines Equipped Microhydro Facilities 486—488

ROMULUS VATAU, MIHAI STOICAN, PAUL DINESCU : The Aspects of "in situ" Performance Testing of EOS-Type Turbines Equipped Microhydro Facilities 488—490

NUCLEAR POWER PLANTS

GABRIEL ROMAŞCU, IRINA NECHITOAIA, MIOARA GUŢU : Planning Intervention Activities During Failures at Nuclear Power Plants 491—494

ELECTRIC NETWORKS

GABRIEL CHIRIŢĂ, BORIS BORESCHIEVICI : Internal Reflecting Surfaces Brightness Calculation Using the Brightness Coefficient Method 495—504

NEW ENERGY SOURCES AND TECHNOLOGIES

ANTON GÂRBACEA : Mounting 300 kW Wind Power Units on the Semenic Mountains. Main Technological Aspects Regarding Erection-Mounting Works (with a short presentation in English) 505—513

ALEXANDRU FLORESCU, CRISTINA PAVELESCU, COSTEL CÎRSTEA, ALEXANDRA SÎRBU : Results and Conclusions Regarding the Use of Low Grade Heat of Geothermal Waters from the Herculane Area, Banat (with a short presentation in English) 514—518

EMILIAN ZAIDES, LIANA OLAR, ADRIAN RADU : The Electric Autonomous 7 kW Wind Generator Unit 518—522

NEWS

INVENTIONS—INNOVATIONS 522

DE PERSONIS 523—525

SOMMAIRE

L'ÉNERGIE DANS L'ENTREPRISE

CORNEL UNGUREANU, IOANA IONEL : Possibilité d'utiliser les gaz résiduaires dans des fins énergétiques 481—485

CENTRALES HYDRAULIQUES

MIHAI TOMA : Problèmes concernant l'exploitation efficiente des microagrégats hydrauliques équipés de turbines Francis horizontales 486—488

ROMULUS VATAU, MIHAI STOICAN, PAUL DINESCU : Aspects concernant les essais sur site des performances des microagrégats hydrauliques équipés de turbines du type EOS 488—490

CENTRALES NUCLÉAIRES

GABRIEL ROMAŞCU, IRINA NECHITOAIA, MIOARA GUŢU : La planification des activités d'intervention lors d'une avarie dans les centrales nucléaires 491—494

RÉSEAUX ET POSTES ÉLECTRIQUES

GABRIEL CHIRIŢĂ, BORIS BORESCHIEVICI : Le calcul de la luminance des surfaces réflechissantes par la méthode du coefficient de luminance 495—504

NOUVELLES SOURCES ET TECHNOLOGIES ÉNERGÉTIQUES

ANTON GÂRBACEA : Le montage des installations aéroélectriques à 300 kV sur le mont Semenic. Principaux aspects technologiques concernant les travaux de construction et montage 505—513

ALEXANDRU FLORESCU, CRISTINA PAVELESCU COSTEL CÎRSTEA, ALEXANDRA SÎRBU : Résultats et conclusions concernant la mise en valeur de la chaleur, des eaux géothermales à bas potentiel thermique de la région Banat—Herculane 514—518

EMILIAN ZAIDES, LIANA OLAR, ADRIAN RADU : Installation aérogénératrice autonome de 7 kW 518—522

NOUVEAUTÉS

INVENTIONS—INNOVATIONS 522

PERSONNALITÉS 523—525

COLEGIUL DE REDACȚIE

Președinte, redactor responsabil: **dr. ing. Eugeniu Pavel**
Redactori responsabili adjuncți: **dr. ing Mihai G. M. Pop, dr. ing. Gheorghe Bălan, ing. Radu Opincaru**
Secretar de redacție: **dr. ing. Teodor Popa**
Gestiunea financiară: **ec. Pompiliu Silvășanu**

Orientări în energetică: **dr. ing. Mario Duma**
Energetica în unități economice: **ing. Ion Mălereanu, ing. Alexandru Florescu**
Dezvoltarea sistemelor energetice: **dr. ing. Nicolae Armencoiu, dr. ing. George Manolescu**
Conducerea și automatica SE: **dr. ing. Victor Romert, dr. ing. Jean Constantinescu**
Centrale termoelectrice: **conf. dr. ing. Costin Moțoiu, ing. Romeo Zbarcea**
Centrale hidroelectrice: **dr. ing. Gheorghe Luca**
Centrale nuclearoelectrice: **ing. Adrian Georgescu, prof. dr. ing. Nicolae Dănilă, ing. Mircea Tarța**
Rețele electrice: **ing. Dinu Volnea, ing. Nicolae Georgian**
Alimentare cu căldură: **ing. Nicolae Niculescu**
Surse și tehnologii noi: **ing. Constantin Popescu**
Tehnologii chimice în energetică. Poluare: **dr. chim. Maria Maftei**
Organizarea producției și a muncii: **ing. Miron Popescu**
Terminologia energetică: **dr. ing. Iosif Cserveny**
Istoria electrificării: **ing. Paul Cartianu**
Noutăți: **ing. Mihai Nistor, ing. Romulus Sfichi**
Centre universitare și industriale:
București: **conf. dr. ing. Alexandru Selischi**
Iași: **prof. dr. ing. Alexandru Poeată**
Timișoara: **prof. dr. ing. Viorel Negru**
Cluj-Napoca: **conf. dr. ing. Silviu Darie**

Acest număr a fost realizat cu ajutorul următorilor secretari ai grupelor de specialitate:

— **ing. Angela Perea** — Energetica în unități economice
— **dr. hidrol. Gheorghe Pop** — Centrale hidroelectrice
— **ing. Călin Teodorescu** — Centrale nuclearoelectrice
— **dr. ing. Traian G. Ionescu** — Rețele electrice
— **ing. Ion Turcu** — Surse și tehnologii noi

Revista „ENERGETICA" este editată și administrată de Institutul de Cercetări și Modernizări Energetice prin Oficiul de Informare-Documentare pentru Energetică.
Vasile Pleșca — șef OIDE, **Ana Maria Chivu** — redactor

Revista ENERGETICA — publicație lunară, reflectă preocupările spiri uale și realizările materiale în domeniul energeticii. Funcționează în conformitate cu *ROF* aprobat cu Ordinul nr. 97/1987, publicat în numărul 4/87 al revistei.

Instituțiile pot achita abonamentele în contul de virament nr. 30.11.8.01.01 — — BN R.S.R. fil. sector 3. Costul unui abonament: 114 lei anual; costul unui exemplar: 12 lei.

Elaboratorii de lucrări propuse pentru publicare sînt rugați să consulte *„Îndrumările pentru întocmirea și prezentarea lucrărilor propuse pentru a fi publicate în revista Energetica"*, *„Ghidul pentru avizarea lucrărilor propuse pentru a fi publicate în revista Energetica"* apărute în numărul 12/86, precum și *„Planul tematic al revistei Energetica pe anii* 1987 — 1990" publicat în nr. 5/1987 al revistei.

41 401

ANNOUNCEMENTS FOR READERS ABROAD

- **The review "Energetica" can send on request from publications abroad reports translated in one of the worldwide spoken languages**
- **The review "Energetica" proposes a publication exchange with similar reviews and in relating fields**
- **The review "Energetica" provides and publishes or introduces books on energy received at the editorial office. Reviews and presentations of books sent on this purpose to the editorial office can be published as well**
- **The review "Energetica" publishes on request from authors abroad reports of energy of other materials: technical and scientific news, inventions-innovations, information about technical and scientific symposia, etc. written in one of the worldwide spoken languages**
- **Readers from abroad can subscribe through: ROMPRESFILATELIA — sectorul import-export, P.O. Box 12—501, telex 10376 prsfir, Calea Griviței nr. 64—66, București — România.**

Tiparul: Întreprinderea Poligrafică „Informația", București, str. Brezoianu 23—25 c—2791

MŰSZAKI INFORMÁCIÓS KÖNYVTÁR

ROMELECTRO

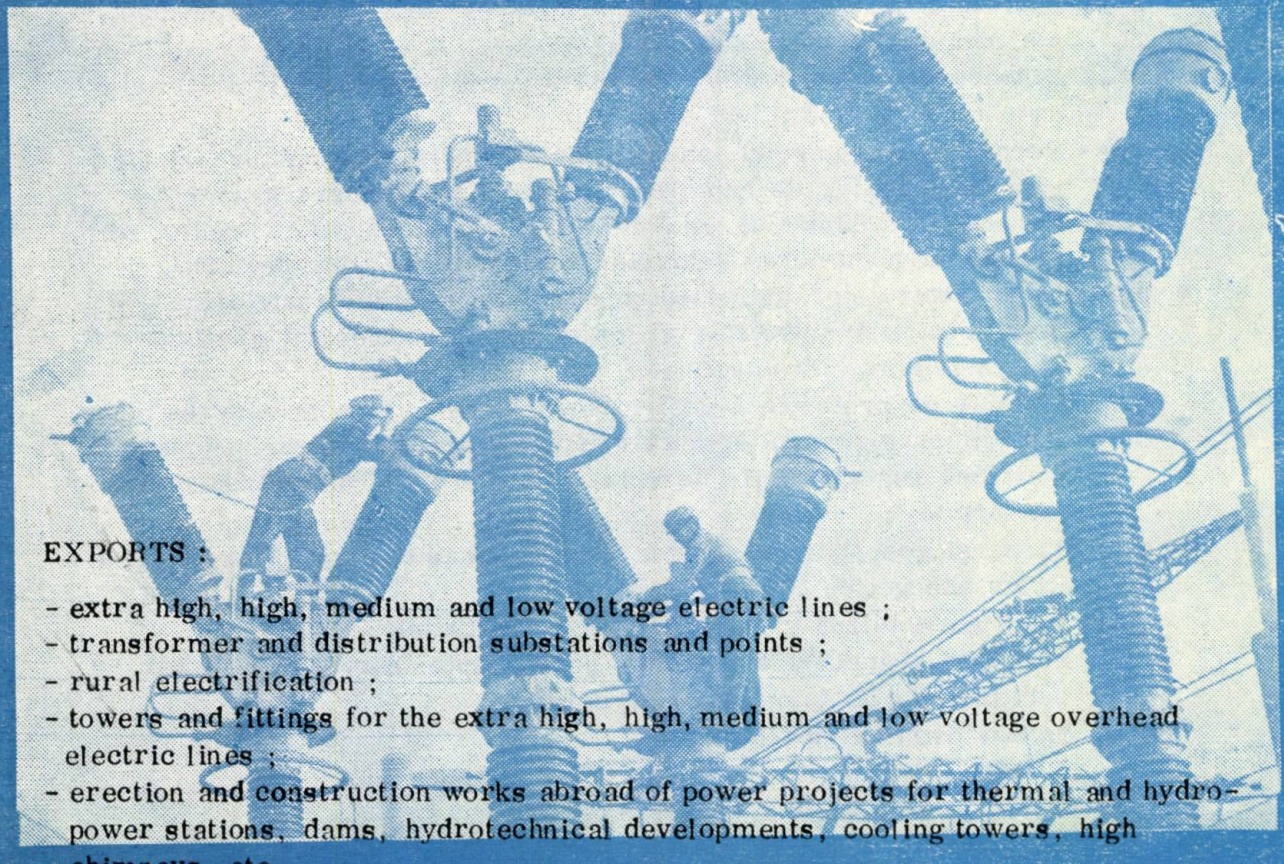
Foreign Trade Company

60 Calea Dorobantilor

Bucharest - Romania
POBox : 1-736
Telex : 10449 roel r

Cable : Romelectro Bucharest
Telephones : 112170 ; 119170

Romelectro Foreign Trade Company carries out services in the power field ranging from studies and designs up to projects commissioning.



EXPORTS :

- extra high, high, medium and low voltage electric lines ;
- transformer and distribution substations and points ;
- rural electrification ;
- towers and fittings for the extra high, high, medium and low voltage overhead electric lines ;
- erection and construction works abroad of power projects for thermal and hydropower stations, dams, hydrotechnical developments, cooling towers, high chimneys, etc.
- specific apparata for construction, erection and operation, equipment and spare parts for the power field ;
- auxiliary installation for electric power stations ;
- licences, feasibility reports, studies, designs, engineering, technical assistance, experts reports in the power field ;
- trolley-bus city transport ;
- general foreign supplier for construction-erection jobs carried out abroad ;
- transit of electric power ;
- training of foreign staff

IMPORTS :

- complex power installations and equipment for thermo and hydropower generating plants ;
- specific equipment and components for the power field, relevant spare parts included ;
- equipment, apparata and materials for the erection of high, medium and low voltage lines and for turn-key deliveries.

ICEMENERG

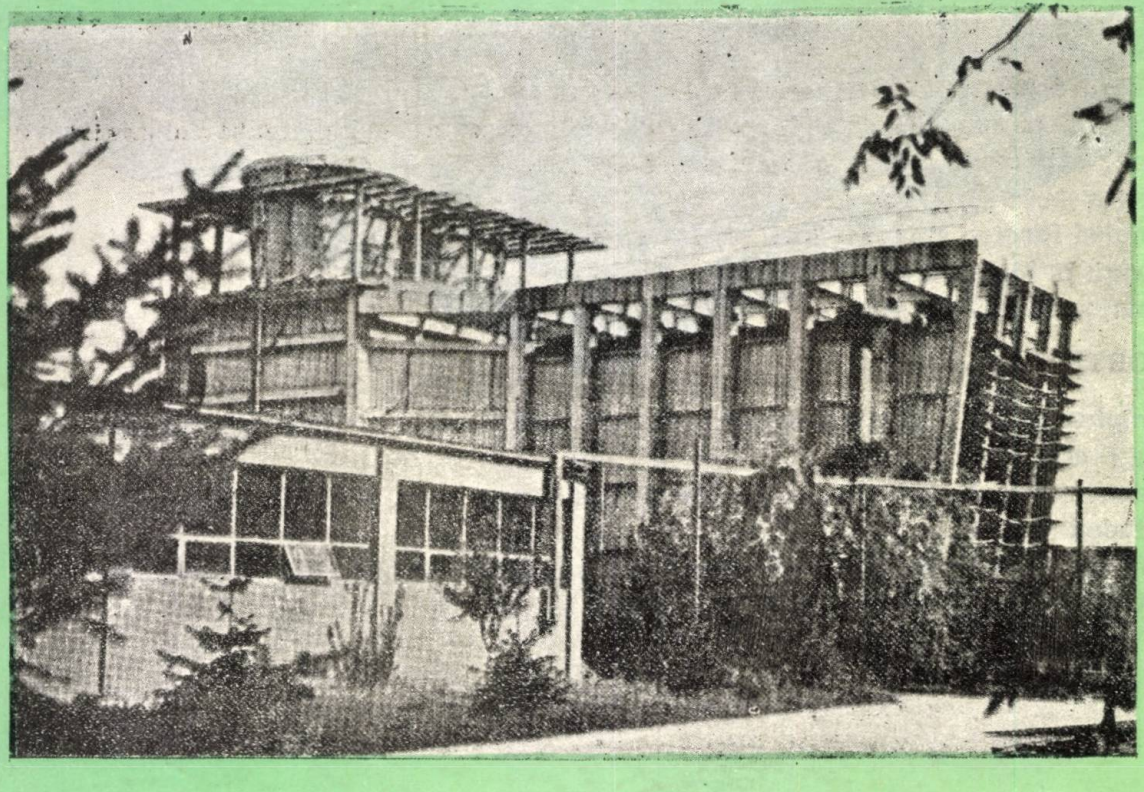
INSTITUTUL DE CERCETĂRI
ŞI MODERNIZĂRI ENERGETICE

BUCUREŞTI Sect. III ● B-dul ENERGETICIENILOR, 8 ● Tel. 21.46.30

ICEMENERG, PRIN LABORATORUL DE CERCETARI HIDROENERGETICE realizează cercetări de laborator şi teren avînd ca scop :

- proiectarea şi exploatarea instalaţiilor componente ale circuitelor hidro tehnice din CTE, CET şi CNE :
  - •• Stabilirea performanţelor şi optimizarea instalaţiilor componente ale circuitelor hidrotehnice ;
  - •• Elaborarea metodologiilor de optimizare a exploatării circuitelor hidrotehnice în condiţii de restricţii ;
  - •• Cercetări în domeniul instalaţiilor de răcire (turnuri, lacuri etc.) şi a instalaţiilor de captare, transport şi evacuare a apei.
  - •• Cercetări în domeniul poluării termice şi a utilizării apelor reziduale la menţinerea şenalelor navigabile pe timp de iarnă.
- exploatarea centralelor hidroelectrice şi microhidrocentralelor :
  - •• Stabilirea performanţelor şi optimizarea funcţionării grupurilor şi centralelor hidroelectrice ;
  - •• Sisteme de protecţie a centralelor hidroelectrice în vederea funcţionării cu siguranţă sporită a hidroagregatelor (instalaţii debitmetrice, reglaj funcţie de cădere, protecţii la spargerea conductei forţate) ;
- exploatarea şi gospodărirea apelor în bazinele amenajate energetic şi a folosinţelor energetice :
  - •• Analize de bilanţ şi prognoze hidroenergetice ;
  - •• Studii de gospodărire a apelor şi de implementare a instalaţiilor debitmetrice la folosinţe energetice ;
  - •• Soluţii debitmetrice noi.

1989 SEP 7



E 2039 CTE

MW 12

REFERÁLVA
R 1989 -06- 04

Cuprins

ORIENTĂRI ÎN ENERGETICĂ

GEORGE MANOLESCU, ANA MARIA PETRESCU, ANTON VLĂDESCU, GHEORGHE VÂLCEREANU: **Considerarea siguranței în studiile de planificare a sistemului electroenergetic** 529—536

ENERGETICA ÎN UNITĂȚI ECONOMICE

CORNEL UNGUREANU, CĂLIN DRUG, PAUL OPRIȘA, PETRU IRRE, IOANA IONEL: **Realizări și perspective privind tratamentul termic după sudare al corpurilor agabaritice** 537—542

CONDUCEREA ȘI AUTOMATICA SISTEMULUI ENERGETIC

SEBASTIAN IONESCU, VERONICA TETELBAUM, OCTAVIAN GHEORGHE, BOGDAN MINTEANSCHI: **Analiza regimurilor tranzitorii ale motoarelor asincrone funcționînd conectate în sistemele electroenergetice complexe** 544—551

CENTRALE TERMOELECTRICE

GEORGE CHERCEA: **Calculul aparatelor de schimb de căldură cu trei fluide** 552—554

BOGDAN POPESCU-VIFOR: **Modelarea numerică cu elemente finite a cîmpurilor de tensiuni termice și mecanice axial-simetrice** 555—563

NOUTĂȚI

CRONICĂ 564—566

DIN ENERGETICA MONDIALĂ 563, 566, 567

CUPRINSUL GENERAL AL REVISTEI ENERGETICA PE ANUL 1988 570—572

INDEX ALFABETIC AL AUTORILOR ARTICOLELOR PUBLICATE ÎN REVISTA ENERGETICA VOL. 36 (1988) 572—573

energetica

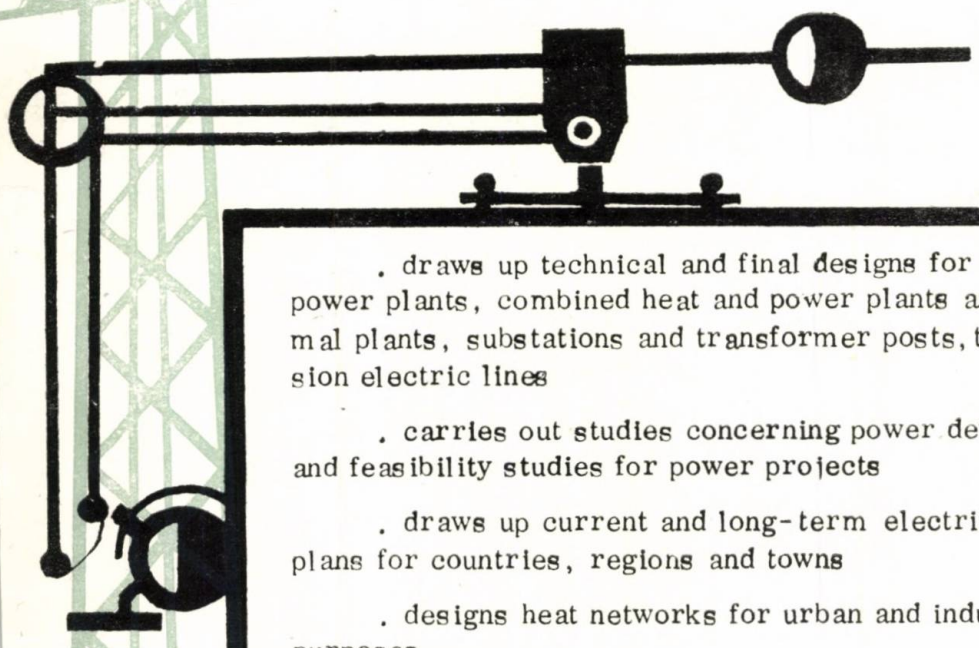
VOLUMUL XXXVI
BUCUREȘTI
DECEMBRIE 1988

ISPE

MINISTERUL ENERGIEI ELECTRICE
INSTITUTUL DE STUDII SI PROIECTĂRI ENERGETICE
ROMANIA, 72301 Bucureşti, sector 2, Bdul Lacul Tei nr. 1
Telegrame : ISPE-Bucureşti, telex : 10978 ispe r, telefon : 107080

The Institute for Power Studies and Designs, the specialized body of the Ministry of Electric Energy, carries out studies and designs required for the "development and for the economic and safety operation of the national power system

It co-operates with foreign companies and organizations for specialized works and gives, on demand, all kind of engineering assistance in the power field and :



. draws up technical and final designs for thermal power plants, combined heat and power plants and thermal plants, substations and transformer posts, transmission electric lines

. carries out studies concerning power development and feasibility studies for power projects

. draws up current and long-term electrification plans for countries, regions and towns

. designs heat networks for urban and industrial purposes

. elaborates studies for establishing the power regime and safety operation

. elaborates methodologies and programmes concerning the planning and operation of the power system

. grants technical assistance in the field of analysis and programming.

ENERGETICA

ORGAN AL MINISTERULUI ENERGIEI ELECTRICE ŞI AL CONSILIULUI NAŢIONAL AL INGINERILOR ŞI TEHNICIENILOR DIN REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA

Anul 36 Nr. 12 decembrie 1988

Orientări în energetică

Considerarea siguranţei în studiile de planificare a sistemului electroenergetic

Dr. ing. GEORGE MANOLESCU, dr. ing. ANA MARIA PETRESCU, ing. ANTON VLĂDESCU, mat. GHEORGHE VÂLCEREANU*

MŰSZAKI INFORMÁCIÓS KÖZPONTI KÖNYVTÁR BUDAPEST

Descriptori : sisteme electroenergetice, fiabilitate, planificare

CZ : 621.311 :612.316.1.004.1

În mod cronologic siguranţa sistemelor electroenergetice a început prin a fi evaluată cu ajutorul unor indicatori determiniști, bazaţi pe experienţa de exploatare.

Pe măsura creşterii complexităţii sistemelor, a evoluţiei metodelor matematice şi a tehnicii de calcul s-au dezvoltat metodele statistico-probabilistice de cuantificare a siguranţei, care ţin seama de aspectele aleatoare care intervin în procesul alimentării cu energie electrică a consumatorilor.

În articol sînt prezentaţi indicatorii de siguranţă determiniști şi probabilistici utilizaţi pe plan internaţional şi în ţara noastră pentru planificarea dezvoltării centralelor şi reţelelor electrice.

Chronologically the reli ibility of power systems has begun to be evaluated by means of deterministic indices based on the operation experience.

At the same time with the increase of systems complexity, of the evolution of mathematic methods and of the computer technique the statistical-probabiiistic methods for the reliability quantification taking into account the aleatory aspects occuring in the consumers electricity supply have been developed.

The paper presents the deterministic and probabilistic reliabilityindices used worldwide and in our country for the power plants and networks development planning.

Prezentare generală

Alimentarea corespunzătoare cu energie electrică devine din ce în ce mai mult o cerinţă esenţială în funcţionarea oricărei societăţi dezvoltate. Din această cauză, livrarea de energie electrică în condiţii adecvate de calitate (frecvenţă, tensiune, continuitate) constituie una din sarcinile de bază în energetică.

Durata mare de realizare a obiectivelor energetice (de la 2—3 ani pentru reţele, pînă la 10 ani sau mai mult pentru centrale electrice) impune o planificare riguroasă şi din timp a instalaţiilor energetice, cunoscînd că :

— nerespectarea programului de realizare a obiectivelor energetice conduce la imposibilitatea asigurării cererii de energie electrică, cu consecinţe negative asupra dezvoltării economico-sociale ;

— realizarea obiectivelor energetice necesită importante fonduri de investiţii şi, deci, orice supradimensionare este costisitoare.

Caracteristica sistemului electroenergetic în ansamblu (sau a instalaţiilor şi dispozitivelor, componente) de a satisface cererea de consum în condiţii prescrise de calitate, constituie siguranţa în funcţionare. Optimizarea tehnico-economică a siguranţei în funcţionarea instalaţiilor energetice şi a sistemului electroenergetic în ansamblu constituie o componentă importantă a activităţii de planificare a dezvoltării în perspectivă a sistemului.

Această planificare se bazează pe studiul unor strategii de evoluţie referitoare la :

— cererea de energie electrică şi termică, ţinînd seama de prevederile de dezvoltare în perspectivă a ramurilor economiei naţionale în conformitate cu programele şi prognozele elaborate ;

— structura optimă a centralelor electrice, în funcţie de politica energetică de stat, de folosire raţională şi de economisire a resurselor energetice disponibile, de asigurare a unui nivel optim de siguranţă în alimentarea consumatorilor cu energie electrică şi termică ;

— configuraţia şi structura reţelei electrice, în condiţiile funcţionării sigure a sistemului ener-

* Dr. ing. George Manolescu, dr. ing. Ana Maria Petrescu, ing. Anton Vlădescu, mat. Gheorghe Vâlcereanu — Institutul de Studii şi Proiectări Energetice Bucureşti.

getic în ansamblu și ale alimentării consumatorilor cu energie la nivelul de calitate normat.

Principiul fundamental al planificării obiectivelor energetice îl constituie prevederea realizării de instalații, la volumul și caracteristicile rezultate din calculele tehnico-economice, care să realizeze, în etapa respectivă, funcționarea economică, în regim normal, și sigură, în regim de avarie.

În țara noastră, dimensionarea sistemului electroenergetic național este reglementată prin normativul PE 026/84[3].

Evaluarea siguranței sistemului electroenergetic este o problemă dificilă; această dificultate decurge în primul rînd din faptul că nivelul de siguranță al furnizării energiei electrice depinde de variația aleatoare a unor parametri, cum ar fi: cererea de energie electrică, energia ce poate fi produsă în centralele hidroelectrice, disponibilitatea grupurilor termoelectrice și a liniilor electrice de transport. În plus, siguranța se ia în considerare prin metode specifice la nivelul centralelor și al rețelelor electrice de transport și distribuție a energiei electrice.

Chiar din prima etapă a studiilor de planificare, prognoza consumului de energie electrică, deși nu determină direct realizarea de investiții, ține seama indirect de aspecte de siguranță prin adoptarea, cu un anumit nivel de încredere, a variantelor celor mai probabile de consum.

Întrucît cuantificarea tuturor aspectelor de siguranță, pentru a fi incluse în calculele tehnico-economice, prezintă mari dificultăți, la început s-a adoptat o serie de criterii fixe, deterministe, bazate pe experiență. Cel mai folosit din această categorie este criteriul „N−1", care impune ca întregul sistem electroenergetic să funcționeze, fără perturbații, la avaria unui singur element (grup, linie, autotransformator etc.), chiar dacă acesta este elementul cel mai încărcat în regim normal.

Evoluția recentă a tehnicii a permis atît cuantificarea mai exactă a aspectelor de siguranță, prin aplicarea de metode probabilistice, cît și estimarea lor concretă prin utilizarea de calculatoare cu capacități mărite de calcul.

În plus, trebuie arătat faptul că marile avarii de sistem, care au avut loc în ultimii 10−15 ani în S.U.A., Franța, Austria, Bulgaria și chiar România, au impus revederea criteriilor și metodelor de considerare a siguranței în studiile de planificare a sistemului electroenergetic.

Din această cauză, în prezent, asistăm, pe plan mondial, la o trecere tot mai mare de la criteriile deterministe la criteriile tehnico-economice bazate pe calcule probabilistice, întrucît numai astfel se pot modela și evalua cît mai corect situațiile cele mai probabile care pot apărea într-un sistem electroenergetic, în funcție de propriile sale particularități.

În cele ce urmează, se prezintă modul în care se consideră siguranța la planificarea investițiilor pentru obiectivele de centrale și rețele electrice.

1. Planificarea centralelor electrice

Ponderea mare a investițiilor în centralele electrice (60−70% din totalul investițiilor în energetică) și rolul foarte important al acestora în economiile naționale, au determinat, practic, de la începutul activității de planificare, considerarea siguranței lor ca un element esențial.

Cuantificarea acesteia s-a făcut atît prin metode bazate pe criterii deterministe, cît și prin metode probabilistice și de evaluare economică.

Astfel, din tabelul 1 se observă că practic toate țările europene folosesc metode bazate atît pe criterii de dimensionare deterministe, cît și probabiliste, cu considerarea unor factori complecși, care influențează dimensionarea centralelor electrice.

1.1. Folosirea de criterii deterministe în planificarea centralelor

Modul cel mai simplu de tratare a siguranței la planificarea centralelor constă în utilizarea unor criterii de dimensionare deterministe bazate pe analize care iau în considerare experiența exploatării sistemelor electroenergetice.

De exemplu, pe baza experienței de exploatare, se cunoaște faptul că, pentru asigurarea corespunzătoare cu energie electrică a consumatorilor, este necesar ca în grupurile sistemului electroenergetic să existe permanent o rezervă de putere de circa 15−35%. Această rezervă în puterea instalată are rolul să compenseze abaterea sarcinii față de valoarea prognozată, să permită efectuarea reparațiilor planificate, să asigure alimentarea consumatorilor în caz de avarii ale grupurilor energetice etc.

Pornind de la acest fapt, se poate stabili drept criteriu de dimensionare un anumit nivel procentual al rezervelor de putere din sistem.

Un alt criteriu determinist, chiar mai empiric decît primul, îl constituie stabilirea, pe bază de experiență, a unei durate de utilizare a puterii instalate, ceea ce conduce la un necesar de putere instalată în sistem.

Tratarea deterministă a siguranței se poate dovedi însă, în multe cazuri, prea simplistă deoarece această metodă nu este sensibilă la modificările în structura grupurilor, la forma curbei de sarcină etc. În realitate, durata de utilizare a puterii instalate, inclusiv rezerva procentuală de putere, depind de o serie de factori, cum ar fi mărimea sistemului electroenergetic, proporțiile între grupurile de bază, semibază și vîrf, puterile unitare și indicatorii de fiabilitate ai grupurilor energetice.

1.2. Utilizarea de metode statistico-probabilistice în planificarea centralelor

Spre deosebire de criteriile deterministe, metodele statistico-probabilistice țin seama de

Tabelul 1

Considerarea în diverse țări a siguranței la planificarea centralelor electrice

Țara	Metode de calcul al rezervei	Factori luați în considerație						
		Nesiguranță consum	Condiții hidro	Rezervă avarie	Rezervă reparații	Capacitate rețele	Interc.	Reducere control sarcină
Austria	D		D	D	D		D	
Belgia	P+E	×		×	×		×	
R. P. Bulgară		×		×	×		×	
Canada	P, D	D	D	P	D, P		×	×
R. S. Cehoslovacă	P	×	×	×	×		×	
Danemarca								
— Iutlanda	P+D	×		P			×	
— Zeelanda	P			P			×	
Finlanda	P		D	P	D	D	D	×
Franța	P	×	×	×	×	D	×	
R. D. Germană		×		×	×		×	
R. F. Germania	P	P	P	P	D		D	
Grecia	P	D	D	P				
R. P. Ungară	P+D		×	P, D	P, D		×	×
Irlanda	P			P			×	
Italia	P	×	×	×		×	×	×
Olanda	P	×		×	×	×		
Norvegia	P+D		P, D			P, D		
R. P. Polonă	P+D	D		P	D, P			×
R. S. România	P	D	D	P	D			
Suedia	P	×	×	×	×	×	×	×
Turcia	P	×	×	×	×	×	×	×
Islanda	P			×			×	
Scoția	P	×	×	P	D	×	×	×
Anglia	P	×		P			×	×

Legenda : P = probabilistic
D = determinist
E = economic
× = se consideră, fără detalieri metodologice

Sursă : Documentul CEE—ONU ECE/EP/31

elementele aleatoare care intervin în alimentarea cu energie electrică a consumatorilor. Ele au la bază indicatori probabilistici, dintre cei mai des utilizați fiind următorii :

— probabilitatea de neasigurare a vîrfului de sarcină (lunar, anual) al sistemului ;

— probabilitatea de neasigurare a sarcinii ;

— energia probabilă nelivrată ;

— gradul de asigurare cu energie electrică.

Probabilitatea de neasigurare a sarcinii ține seama de variația în timp a cererii de energie electrică. Acest indicator de siguranță, sub formă de probabilitate sau înmulțit cu durata în zile a unui anumit interval de timp (1 an, 10 ani etc.), constituie un criteriu foarte des utilizat în dimensionarea puterii instalate în sistemele energetice din alte țări, fiind cunoscut sub numele de „Loss of Load Probability — LOLP".

Gradul de asigurare cu energie electrică, (%), definit ca raportul dintre energia probabilă livrată și energia cerută, este cunoscut în literatura de specialitate sub numele de „Energy Index of Reliability — EIR".

Date fiind efectele de sens contrar ale instalării în sistem a unor obiective energetice noi (fonduri de investiții și cheltuieli de exploatare suplimentare, pe de o parte, și reducerea daunelor datorate nealimentării cu energie electrică a consumatorilor, pe de altă parte), o anumită valoare a indicilor de siguranță de mai sus nu este semnificativă decît dacă este obținută în urma unui calcul tehnico-economic prin care s-a determinat valoarea minimă (actualizată) a funcției : cost total = cost investiții + cheltuieli exploatare + daune.

Valoarea astfel estimată poate fi folosită drept criteriu de dimensionare atît timp cît condițiile în care a fost determinată nu s-au schimbat substanțial.

Pentru anumite categorii de consumatori particulari care sînt sensibili la frecvența și durata întreruperilor în alimentarea cu energie electrică, se pot utiliza o serie de indici de siguranță suplimentari, precum :

— frecvența medie a stărilor de nealimentare (evenimente/zi) ;

— durata medie a unei stări de nealimentare (ore/eveniment).

1.3. Practica din România de considerare a siguranței la planificarea centralelor electrice

Pînă nu de mult, planificarea pe termen mediu și lung a dezvoltării centralelor electrice din

țara noastră se făcea cu ajutorul modelului DEZVOLTARE, care avea la bază un algoritm de programare liniară [11]. În acest model siguranța era tratată determinist, sub forma unei restricții care fixa intervalul admis pentru rezerva procentuală de putere.

Programul optim de dezvoltare a centralelor, determinat cu ajutorul modelului DEZVOLTARE, era verificat detaliat din punctul de vedere al siguranței cu ajutorul modelului probabilistic VERABIC, care modelează avariile aleatoare ale grupurilor după legea de probabilitate binomială.

În anul 1984 în țara noastră a fost implementat modelul WASP (**W**ien **A**utomatic **S**ystem **P**lanning Package), de optimizare a dezvoltării centralelor electrice, difuzat de Agenția Internațională pentru Energie Atomică — AIEA țărilor membre [6, 12].

După adaptarea sa la specificul sistemului nostru electroenergetic și la mijloacele de calcul din țară (FELIX), modelul WASP este utilizat curent în studiile de optimizare a dezvoltării centralelor din țara noastră pentru etapa de perspectivă.

În modelul WASP, planificatorul are posibilitatea să impună configurațiilor de grupuri analizate, existente și noi, atît restricții de siguranță de tip determinist, sub forma unor limite pentru rezerva procentuală de putere, cît și restricții de siguranță de tip probabilistic (valoare limită a indicelui LOLP — Loss of Load Probability). În plus, energia nelivrată, estimată probabilistic și evaluată pe baza unui cost crescător al kWh nelivrate funcție de profunzimea deficitului (vezi pct. 3), este introdusă în funcția de eficiență a algoritmului de programare dinamică cu ajutorul căruia se alege programul optim de dezvoltare a centralelor de-a lungul perioadei de studiu.

Deși între indicele de siguranță LOLP și gradul de asigurare cu energie electrică, utilizat curent în țara noastră, nu se poate stabili o relație valabilă pentru orice sistem electroenergetic, din practica utilizării modelului WASP pentru sistemul nostru a rezultat că, impunînd indicelui LOLP o valoare limită de 1 zi/an, se obține un program optim de dezvoltare a centralelor, ale cărui configurații anuale de grupuri au gradul de asigurare cu energie electrică cuprins în intervalul 99,92—99,98%, valoare prevăzută și în normativul PE 026/84 [3]; se observă că media acestui interval este chiar valoarea de 99,95% care corespundea, conform unor analize tehnico-economice mai vechi, rezervei de putere optime pentru sistemul nostru electroenergetic la nivelul anilor 1980—1985, în condițiile funcționării interconectate.

2. Planificarea rețelelor electrice

Prin specificul lor, rețelele electrice au un dublu rol: alimentarea consumatorilor și evacuarea puterii din centralele electrice. În acest mod, rețelele electrice devin un element complementar al dimensionării centralelor electrice, inclusiv deci și din punctul de vedere al siguranței.

Din aceste motive, atît criteriile deterministe, cît și calculele probabilistice, așa cum se vor menționa mai jos, efectuate în scopul estimării siguranței rețelelor electrice, iau în considerare și cazuri de avarie a grupurilor din centralele electrice.

În tabelul 2 se prezintă modul în care se elabora în anii trecuți planificarea rețelelor electrice în diferite țări din Europa. Din acest tabel rezultă că absolut toate țările menționate folosesc criterii fizice (deterministe) în planificarea rețelelor electrice, fie în exclusivitate, fie în paralel cu calcule economice și probabilistice.

Este de menționat că, pe măsura dezvoltării tehnicii de calcul, se introduc tot mai mult metodele economico-probabilistice, fără a se renunța încă la criteriile fizice (deterministe).

2.1. Criterii deterministe de considerare a siguranței rețelelor electrice

În tabelul 3 se precizează principalele criterii deterministe folosite în anii trecuți în diferite țări europene. Se observă că absolut toate țările folosesc criteriul N—1, atît ca o simplă

Tabelul 2

Considerarea în diverse țări a siguranței în planificarea rețelelor electrice

Țara	Criterii generale pentru evaluarea siguranței		
	Economice	Indici cantitativi	Criterii fizice
Austria	×		×
Belgia		×	×
R. P. Bulgară			×
Canada	×		×
R. S. Cehoslovacă			×
Danemarca			
— Jutlanda			×
— Zeelanda			×
Finlanda	×		×
Franța	×		×
R. D. Germană			×
R. F. Germania			×
Grecia			×
R. P. Ungară	×		×
Irlanda		×	×
Italia	×	×	×
Olanda			×
Norvegia			×
R. P. Polonă			×
R. S. România	×	×	×
Suedia			×
Turcia			×
Anglia	×	×	×
Scoția de Nord	×	×	×
Scoția de Sud			×

Sursă: Documentul CEE—ONU ECE/EP/31.

Tabelul 3

Criterii deterministe de planificare rețele folosite în diverse țări

Țara	Avarie rețea		Avarie centrală				
	N−1	N−2	Reducere 30−50% centrală P_{max}	1 gr. P_{max}	2 gr. P_{max}	Bare colectoare	Totală
Austria	1						2
Belgia	1, 2			2	3		
Canada	1	2					
R. S. Cehoslovacă	1, 2	3		2		4	
Danemarca							
— Jutlanda	1						2
— Zeelanda	1						
Franța	1			1			
R. D. Germană	1	2	3			3	
R. F. Germania	1						
Grecia	1, 5	2, 3, 4	2, 3	1, 4			5
Irlanda	1	3		1, 3	2		
Irlanda de Nord	1						
Italia	1	2		1			
Olanda	1			1			
Norvegia	1					1	
R. P. Polonă	1, 2, 3	5	2	3, 5		4	
Regatul Unit	1	2		1, 3		3	
R. S. România	1	2		1			
Suedia	1						1
Scoția de Nord	1, 4	3		1, 2, 3		2	4
Scoția de Sud	1	2		1, 2, 3		3	
Turcia	1		2				
R.P. Ungaria	1, 2	3	3	2		2	

NOTĂ
Cifrele arată ordinea de importanță în aplicarea criteriilor. Acolo unde se repetă cifra, criteriile se aplică concomitent.
Sursă : Documentul CEE−ONU ECE/EP/31.

avarie de linie pentru care trebuie luate toate măsurile de eliminare a oricăror consecințe, cît și, în mai mică măsură, în combinațiile cu diverse avarii din centrale.

În unele țări se folosesc și criterii de tipul N−2 și anume, în acest caz, avaria unei linii cu dublu circuit. Se menționează o largă dispută între specialiști în legătură cu faptul dacă avaria unei asemenea linii, cu dublu circuit, constituie avaria a două elemente distincte (deci criteriul N−2), sau a unui singur element (criteriul N−1), datorită existenței unor elemente comune (stîlpi, fundații etc.).

Considerarea avariei unei linii cu dublu circuit ca un singur element (criteriul N−1) conduce la investiții mai mari în rețelele electrice analizate, fiind necesare instalații de rezervă pentru avaria simultană a ambelor circuite.

Unele reglementări de compromis, existente și în țara noastră, au prevăzut că o linie cu dublu circuit poate fi considerată ca formînd două circuite distincte atunci cînd se poate lucra la un circuit în timp ce celălalt se află sub tensiune.

Ca urmare a celor arătate mai sus privind relațiile centrale-rețele, în tabelul 3 se prezintă și criterii mixte, care consideră avarii în centrale, de regulă, avaria grupului de putere maximă din zona alimentată suprapusă peste avaria unui element de rețea. De asemenea, se utilizează și criterii de dimensionare deosebit de severe, cum ar fi avaria totală a unei centrale, situație în care sînt necesare investiții mari în rețele electrice suplimentare, și chiar în centrale electrice.

2.2. Criterii probabiliste în proiectarea rețelelor electrice

Criteriile deterministe de mai sus, deși se bazează pe o bogată experiență, nu țin seama de diversitatea funcțiilor pe care le pot avea rețelele electrice (evacuarea puterii din centrale clasice sau CNE, interconexiune zonală, distribuție etc.).

Aceasta poate conduce la situația că două rețele zonale, „identice" din punctul de vedere al unui criteriu determinist, pot avea niveluri de siguranță diferite dacă sînt analizate mai detaliat prin intermediul unor calcule probabilistice.

Pe baza acestor principii, în literatura de specialitate se prezintă o serie de modele în care, pentru o anumită zonă, se analizează comportarea posibilă a fiecărui element (grup, linie, autotransformator etc.), rezultînd o anumită energie probabil nelivrată.

Estimarea acestei energii se face, de regulă, prin modelarea probabilistică cu ajutorul unor

metode de tip Monte Carlo a indisponibilităților aleatoare ale grupurilor energetice, precum și ale liniilor electrice de racord interzonal.

Se poate determina în acest mod atît partea de energie nelivrată datorită insuficienței grupurilor, cît și componenta datorată insuficienței liniilor de racord interzonale, care apoi este introdusă în calcule economice pentru a stabili oportunitatea dezvoltării acestor linii.

Modelarea comportării în exploatare a echipamentelor energetice mai poate fi efectuată și prin procese stocastice de tip Markov sau prin procese de tip Bernoulli. Pe baza acestor modele matematice au fost elaborate o serie de programe de calcul de dimensiuni mari și foarte mari pentru estimarea siguranței în funcționare, sub formă de energie nelivrată, care consideră atît grupurile, cît și liniile aeriene, implicit limitările de tranzit de putere care apar la o configurație probabilă de grupuri. O astfel de analiză urmărește minimizarea cheltuielilor de investiții considerînd și daunele datorită nealimentării (daunele se estimează la 20—50 ori valoarea medie pe sistem a energiei produse). Modelele PERU și MEXICO utilizate de EDF sînt bine cunoscute în acest sens [8].

Este de menționat că, față de criteriile deterministe și probabiliste avute în vedere în fiecare țară, pot exista și avarii mai grele. Pentru aceste cazuri, posibile, dar mai puțin probabile, nu se realizează rețele suplimentare, ci, prin măsuri de automatică, se acționează pentru limitarea extinderii avariei.

În tabelul 4 se prezintă, în mod similar, practica din alte țări pentru criteriile de dimensionare a automaticii de sistem. Se observă că aproape toate țările folosesc drept criteriu de bază un scurtcircuit trifazat fără RAR ca evenimentul probabil pentru care orice rețea trebuie să fie pregătită a face față, urmînd apoi alte avarii mai puțin probabile.

2.3. Practica de proiectare sub aspectul siguranței a rețelelor electrice în România

Pe baza normativului PE 026/84, dimensionarea rețelei electrice de transport se face la criteriul determinist N-1 pentru rețele de alimentare a zonelor deficitare, pentru rețele de evacuare a puterii din zone excedentare sau din centrale electrice clasice și la criteriul N—2 (LEA dublu circuit) la evacuarea puterii din centrale nuclearoelectrice.

Criteriul fizic de dimensionare este considerat corelat cu palierul de sarcină și regimul de funcționare al centralelor care conduc la solicitarea maximă a liniilor electrice dimensionate.

Pentru dimensionarea rețelelor de alimentare a unei zone deficitare se consideră regim de

Tabelul 4

Criterii deterministe de organizare a automaticii de sistem folosite în diverse țări (stabilitate la scurtcircuit)

Țara	Fără RAR			Cu RAR reușit			Cu RAR nereușit			Trifazat pe bare
	T*	B**	M***	T	B	M	T	B	M	
Belgia	1	—	—	—	—	—	—	—	—	2
R. P. Bulgară	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—
R. S. Cehoslovacă	1	—	—	2	—	3	4	—	—	—
Danemarca										
— Jutlanda	—	—	—	1	—	—	—	—	2	3
— Zeelanda	1	—	—	—	—	—	—	2	3	4
Finlanda	—	—	—	—	1	—	—	—	2	3
Franța	1	2	3	—	—	—	—	—	—	4
R. D. Germană	1	2	—	—	—	—	—	—	—	3
Grecia	1	—	2	3	—	4	5	—	6	7
R. P. Ungară	—	—	—	1	—	2	—	—	3	4
Irlanda	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Italia	1	—	—	—	—	2	—	—	3	—
Olanda	—	—	—		1	2	—	—	3	4
Norvegia	1	—	—	2	—	—	—	—	3	4
R. P. Polonă	—	—	—	1	—	—	—	—	2	3
R. S. România	—	—	—	1	—	2	—	—	—	—
Suedia	1	—	—	—	—	—	—	—	2	3
Turcia	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Regatul Unit	1	—	—	—	—	—	—	—	—	2
Irlanda de Nord	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Scoția de Nord	1	2	—	—	—	—	—	—	—	—
Scoția de Sud	1	2	—	—	—	—	—	—	—	—

Notă: cifrele arată ordinea importanței în aplicarea criteriilor
* T — scurtcircuit trifazat
** B — scurtcircuit bifazat
*** M — scurtcircuit monofazat
Sursă: Documentul CEE-ONU ECE/EP/31

deficit maxim al zonei în cazul funcționării centralelor zonei la regim mediu cu avaria grupului de putere maximă și, suprapusă, indisponibilitatea celei mai încărcate linii de alimentare a zonei.

Pentru evacuarea puterii dintr-o centrală, rețelele se dimensionează la funcționarea în regim mediu a tuturor centralelor din zonă și la regim maxim a centralei în cauză, la care se aplică criteriul N−1 pentru rețelele electrice analizate.

În ceea ce privește modelele de calcul pentru estimarea energiei probabil nelivrate, element ce se introduce apoi în comparația economică, sînt în uz o serie de programe de calcul care folosesc procesele stocastice de tip Markov (program FIANOD) sau procedee bazate pe metoda Monte Carlo (programul FIAZON).

Pentru incidente care depășesc criteriile fizice considerate, se asigură dotarea SEN cu automatizări pentru limitarea extinderii avariilor.

Eficiența automatizării, sub aspectul limitării consecințelor, se verifică la următoarele incidente inițiale: scurtcircuit polifazat pe o secție de bare, scurtcircuit polifazat pe o linie urmat de reanclanșarea trifazică reușită în configurația cu N−1, scurtcircuit polifazat pe barele unei secții de bare însoțit de refuzul întrerupătorului de cuplă, declanșarea simultană a liniilor de pe același culoar, scurtcircuit polifazat pe o linie în apropierea unei mari centrale însoțit de refuzul de declanșare a unuia din întrerupătoarele de la capătul liniei.

3. Modalități de valorizare a siguranței

Principiul optimizării costului total actualizat presupune estimarea daunelor produse consumatorilor, ca urmare a nealimentării cu energie electrică (costul energiei nelivrate). Fixarea costului specific (lei/kWh) al daunelor constituie însă o problemă dificilă, asupra careia opiniile specialiștilor nu sînt deloc unanime. În o serie de țări ca R.D.G., Ungaria etc. unui kilowatt-oră de energie probabil nelivrată i se asociază un cost mediu care se determină ca raport între valoarea producției totale anuale și energia electrică consumată pentru realizarea acesteia. În unele studii sovietice poate fi întîlnită valoarea de 0,8 ruble/kWh, iar la societatea italiană ENEL se lucrează cu valori cuprinse în intervalul 0,45−2,35 dolari/kWh și, mai frecvent, cu o valoare medie de 1 dolar/kWh [13].

În S.U.A. se utilizează valori ale lui LOLP cuprinse în intervalul 0,001−0,0001, iar costul energiei nelivrate se ia între 2 și 5 dolari/kWh.

În Franța această problemă a fost studiată cu mare atenție, ajungîndu-se la adoptarea următoarei strategii [7, 9]:

— cost constant al unui kWh de energie nelivrată în studiile de optimizare a rețelelor, dar diferit pentru rețelele de transport (~5 FF/kWh) și cele de distribuție (~10 FF/kWh);

— cost specific al energiei nelivrate crescător cu profunzimea deficitului, după o curbă parabolică (fig. 1), în studiile de optimizare a centralelor electrice pornindu-se de la realitatea că toți consumatorii pot fi deconectați în ordinea inversă a importanței lor.

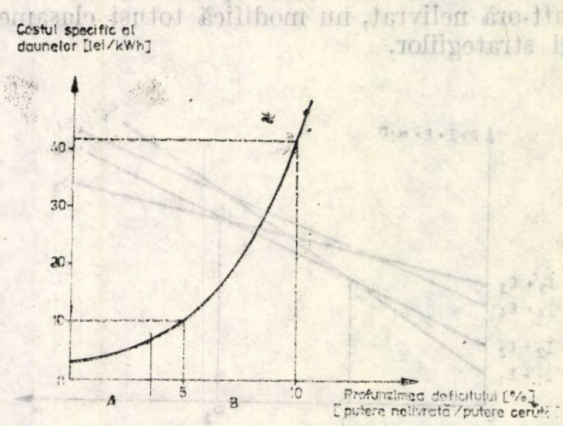


Fig. 1. Variația costului specific al daunelor în funcție de profunzimea deficitului de putere: A — zona corespunzătoare adoptării unor acțiuni cu caracter excepțional; B — zona corespunzătoare limitărilor sau sacrificiilor la consumatori.

Oricare ar fi modul de lucru pentru care se optează, rămîne totuși de rezolvat „dilema" alegerii valorii constante sau a formei curbei de variație a unui kilowat-oră de energie nelivrată. Această dilemă poate fi soluționată uneori în modul menționat mai jos.

Presupunem că, pentru fundamentarea unei investiții, se analizează 4 strategii $S_k (k = 1, 2, 3, 4)$ caracterizate prin costurile (actualizate) ale investițiilor I_k, cheltuielile (actualizate) de exploatare E_k și energia probabil nelivrată D_k. Strategiile cu siguranță ridicată și daune probabile mici (D_k mic) necesită, de regulă, investiții și cheltuieli de exploatare mai mari decît strategiile cu siguranță mai scăzută, ceea ce face ca departajarea strategiilor să depindă, în fond, de costul specific α atribuit unui kilowatt-oră nelivrat.

Considerînd acest cost drept variabilă și reprezentînd grafic costul total (actualizat) C al investițiilor, exploatării și daunelor, se obțin concluzii foarte utile (fig. 2):

— dacă costul unui kilowatt-oră nelivrat este inferior valorii α_1 strategia 1 este optimă;

— dacă costul unui kilowatt-oră nelivrat este cuprins între α_1 și α_2, strategia 2 este optimă;

— dacă costul unui kilowatt-oră nelivrat este mai mare decît α_2 strategia 3 este optimă;

— strategia 4 nu poate fi reținută în nici un caz.

Acest mod de tratare a costului specific al energiei nelivrate are cel puțin următoarele două avantaje:

— permite eludarea problemei alegerii unui cost precis al daunelor pentru 1 kWh energie nelivrată;

— oferă o plajă de optimalitate a fiecărei strategii, ceea ce permite ca, în momentul deciziei asupra uneia din strategii, să se ia în considerare şi restricţii exterioare care, deşi pot schimba întrucitva costul specific al unui kilowatt-oră nelivrat, nu modifică totuşi clasamentul strategiilor.

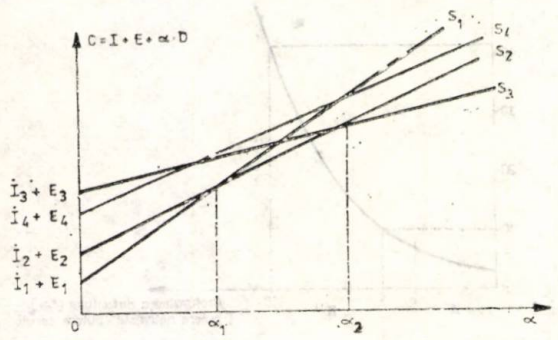


Fig. 2. Plajele de valabilitate a soluţiilor funcţie de costul specific al deficitului.

În România s-au utilizat de-a lungul timpului, atît pentru centrale, cît şi pentru reţele, valori ale kilowattului-oră de energie nelivrată indexate în raportul cu costul mediu pe sistem al energiei produse în etapa analizată (20—50 ori).

În prezent, ca urmare a implementării pachetului de programe WASP pentru planificarea dezvoltării centralelor electrice, există posibilitatea considerării unui cost specific al energiei nelivrate crescător cu mărimea deficitului după o curbă parabolică. Deoarece fixarea coeficienţilor acestei curbe, în condiţiile concrete ale ţării noastre, necesită o analiză de detaliu a consecinţelor directe şi derivate pe care le are nealimentarea cu energie electrică asupra diferitelor categorii de consumatori, în cele două studii de optimizare a dezvoltării centralelor efectuate pînă în prezent cu ajutorul modelului WASP, s-a considerat un cost constant al energiei nelivrate (coeficienţi nuli pentru termenii de gradul 1 şi 2 ai curbei parabolice).

Analizele parametrice efectuate cu costuri ale energiei nelivrate, cuprinse în intervalul 10—30 lei kWh, au confirmat programul optim de centrale determinat cu ajutorul modelului WASP.

Concluzii

În mod cronologic, siguranţa sistemului electroenergetic a început prin a fi evaluată cu ajutorul unor criterii deterministe, bazate pe experienţa de exploatare a centralelor şi reţelelor electrice.

Creşterea complexităţii sistemelor electroenergetice, ca şi evoluţia metodelor matematice şi a tehnicii de calcul au permis utilizarea metodelor statistico-probabilistice de cuantificare a siguranţei, care ţin seama de toate aspectele aleatoare care intervin în procesul alimentării consumatorilor.

Pentru viitor se întrevede perfecţionarea în continuare a metodelor statistico-probabilistice; ele nu vor înlocui însă complet criteriile deterministe, care vor continua să fie folosite în special pentru trierea preliminară a diferitelor variante.

Bibliografie

[1] * * * *Criterès applicables à la coordination de la projection des grandes systèmes électriques, dans l'optique des besoins de la réalisation des interconnexions.* Document CEE — ONU ECE/EP/31.

[2] Nitu, V. I. ş. a. *Fiabilitatea instalaţiilor energetice.* Bucureşti, Editura Tehnică, 1979.

[3] PE—026/84. *Normativ de proiectare a sistemului energetic naţional.*

[4] PE—013/84. *Normativ privind metodele şi elementele de calcul al siguranţei în funcţionare a instalaţiilor energetice.*

[5] Power Systems Engineering Commitee *Reliability Indices for use in Bulk Power Supply Adequacy Evaluation.* In: IEEE Trans. on PAS, Vol PAS-97, no. 4 July/Aug. 1978, p. 1097—1103.

[6] I A E A *Wien Automatic System Planning Package (WASP), A Computer Code for Power Generating System Expansion Planning.* WASP III Version, Users' Manual, Vienna — Austria, Nov 1980.

[7] Moynet, G. *Détermination du niveau optimal de puissance du parc de production face à la demande d'électricité. Evolution de la méthode.* In: Revue de l'Energie, no 301, Février 1978, p. 66—82.

[8] Dodu, J. C. *Modèle probabiliste pour l'étude globale de la sécurité d'alimentation d'un réseau de transport (Modèle Mexico).* In: Bulletin DER-EDF, Série B no 4, 1971, pp 5—28.

[9] Bergougnoux, J., Lemoine, J. C., Jomier, R. *Contribution à l'étude d'une politique optimale de développement des réseaux de distribution* In: RGE, Tome 84, no 11, Novembre 1975, p. 840—849.

[10] Manolescu, G., Stein, M., Vâlcereanu, Gh. *Asupra criteriilor de alegere a structurii reţelelor zonale de transport al energiei electrice cu ajutorul calculelor statistico-probabilistice.* In: Energetica, 24, 1976, nr. 3, p. 77—101.

[11] Nitu, V. I., Goldenberg, C., Ionescu, S., Vlădescu, A. *Model de programare liniară pentru previziunea dezvoltării centralelor electrice.* In: Energetica, 16, nr. 8 şi 9, 1968, p. 337—342 şi 385—394.

[12] Breazu, F., Goldenberg, C., Manolescu, G., Vâlcereanu, Gh. *Unele aspecte privind planificarea în România a dezvoltării centralelor electrice cu ajutorul pachetului de programe WASP-III.* In: Energetica, 35, 1987, nr. 7, p. 289—294.

[13] Paris, L., Salvaderi, L. *Pumped-storage plan basic characteristics: their effect on generating system reliability.* Proceedings of the American Power Conference, Chicago, 1974, vol. 36, p. 403—418.

(Primit la 20 ianuarie 1988, aceptat la 16 septembrie 1988)

Realizări și perspective privind tratamentul termic după sudare al corpurilor agabaritice

Prof. dr. ing. CORNEL UNGUREANU, dr. ing. CĂLIN DRUG,
ing. PAUL OPRIȘA, ing. PETRU IRRE, ing. IOANA IONEL*

Descriptori: sudare, tratamente termice

CZ: 621.791.052 : 621.78

Cercetările teoretice și experimentale pe modele, stație pilot și la scară industrială, au permis realizarea unei instalații de tratament termic după sudarea corpurilor agabaritice prin încălzirea integrală cu un mediu fierbinte după o tehnologie originală, aplicată cu succes la detensionarea unor camere de cocsare, rezervoare cilindrice și chiar la uscarea unor betoane refractare.

Pe lîngă descrierea instalației, lucrarea prezintă modelul matematic, implementarea sa pe calculator și rezultatele obținute cu privire la modelarea comportării rezervoarelor sferice în procesul detensionării cu mediu fierbinte.

Theoretical and experimental research works on models pilot station and industrial scale have enabled to achieve a post-welding thermal treatment installation for overdimensioned parts. This one consists in heating up the entire part with a hot agent according to an original technology, applied successfully at the stress relieving of carbon producing chambers, cylindrical tanks and even at refractory concrete drying.

Besides the instaliation description, the paper contains the mathematical model, its computer implementation and the results obtained for the spherical tanks behaviour modelling in the process of hot agent detensioning.

Introducere

Dezvoltarea industriei în general și a industriei chimice în special reclamă construirea unor recipiente de mare capacitate, de formă cilindrică sau sferică, care se folosesc pentru diverse procese tehnologice (coloane de cocsare, distilare, cracare etc.), sau ca rezervoare pentru anumite gaze lichefiate.

Dimensiunile mari, agabaritice, ale unor asemenea recipiente nu permit transportul lor în stare montată, ci sînt confecționate pe șantier, asamblîndu-se prin sudarea elementelor gabaritice din care se compun.

Pentru eliminarea tensiunilor interne care apar în timpul sudării, se impune o operație de tratament termic. Practica încălzirii locale a cordoanelor de sudură, folosind rezistențe electrice sau arzătoare de gaz, se consideră necorespunzătoare, deoarece nu asigură eliminarea totală a tensiunilor interne, prezența acestora conducînd în timp la coroziunea fisurantă sub sarcină.

În prezent, pentru eliminarea tensiunilor interne care apar în timpul sudării, normele internaționale [1 — 4] impun încălzirea în întregime a recipientului pînă la o anumită temperatură, dependentă de calitatea oțelului și grosimea virolei, la care se menține un anumit timp (1,5 — 3 ore), după care urmează racirea. Vitezele de încălzire și răcire trebuie să se înscrie în anumite limite (110—140 K/oră), iar diferența maximă de temperatură între diversele puncte de pe suprafața recipientului să nu depășească (27—33 K/m).

În trecut, pentru efectuarea tratamentului termic integral de detensionare a unor astfel de recipiente agabaritice de mare capacitate (coloane de cocsare cu Ø 5 m și h = 27 m sau rezervoare sferice de 1000 m³ cu D = 14200 mm) se apela la firma Cooperheat.

În principiu, metoda folosită de firma amintită se bazează pe utilizarea unor arzătoare speciale cu gaze naturale, montate la partea superioară a rezervoarelor agabaritice, circulația gazelor de ardere făcîndu-se de sus în jos (fig. 1). Prin reglarea debitului de gaze combustibile și a aerului secundar furnizat de un compresor, se asigura fluxul de căldură necesar realizării tratamentului termic după diagrama impusă de tehnologul sudor.

Costul ridicat al unor asemenea prestații, posibilitatea ca flacăra să conțină elemente care să constituie amorse de coroziune (fulgi de carbon, atomi de hidrogen, oxigen și azot etc.), dar mai ales faptul că în unele cazuri, ca de exemplu al coloanelor de cocsare sau al rezervoarelor sferice cu diametre foarte mari, partea inferioară a acestor recipiente nu atingea temperatura de palier cerută, necesitînd o încălzire separată cu rezistențe electrice, a ridicat problema concepției și realizării în țară a unui utilaj corespunzător efectuării unor asemenea tratamente termice.

La solicitarea TAGCMRIC București și împreună cu specialiștii acestui trust s-a proiectat și realizat, după o concepție proprie [5, 6], stațiile de tratament termic al corpu-

* Prof. dr. ing. Cornel Ungureanu, ing. Paul Oprișa și ing. Ioana Ionel — Institutul Politehnic „Traian Vuia" Timișoara, dr. ing. Călin Drug și ing. Petru Irre — IPROTIM Timișoara

rilor agabaritice după sudare cu puterea termică de 1600 și 4000 kW, cu funcționare pe gaze sau combustibil lichid ușor.

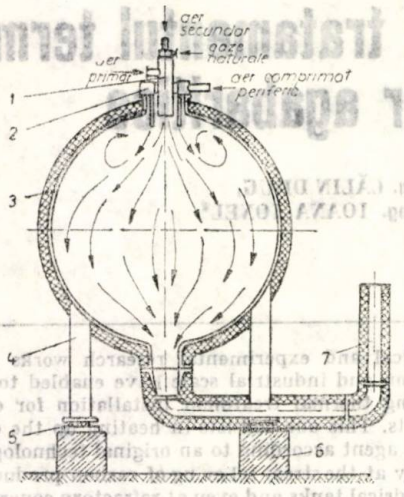


Fig. 1. Schema de principiu a instalației de tratament termic cu gaze de ardere produse de un arzător montat la polul superior al sferei: 1 — arzător; 2 — colector aer secundar; 3 — izolație termică; 4 — stîlpi de susținere; 5 — role; 6 — fundație; 7 — conductă de evacuare a gazelor.

1. Soluția de tratamente termice UDEH-3

În figura 2 se prezintă schema de principiu a stației de tratamente termice UDEH — 3 concepută în vederea detensionării rezervoarelor sferice după sudare. În principal, stația se compune din: generatorul pentru pregătirea mediului fierbinte, instalațiile anexe pentru alimentarea cu combustibil și aer secundar, aparatura de măsură și înregistrare a temperaturilor peretelui sferei.

Generatorul de mediu fierbinte este deci în esență un focar în care arderea combustibilului se face la o ușoară suprapresiune față de presiunea mediului ambiant (1400 PA). Gazele de ardere pot fi diluate într-o proporție mai mare sau mai mică cu aer, astfel încît temperatura amestecului să varieze după necesități între 650 K și 1200 K. Puterea termică a generatorului de mediu fierbinte poate fi variată între 25 și 100% din cea nominală.

Prevederea posibilității ca generatorul UDEH — 3 să fie înzestrat fie cu un arzător AMAG — 4000 — PC, fie cu AMAP — 4000 — PC prezintă avantajul că permite folosirea fie a gazului natural, fie a combustibilului lichid ușor, în funcție de disponibilitatea unuia sau altuia.

În figura 3 este reprezentată schema izometrică a instalației de alimentare cu gaze naturale, care cuprinde arzătorul, grupa de armături gaze și postul de reglare măsurare.

Schema funcțională a instalației de combustibil lichid (fig. 4) a fost concepută în ideea că la locul de utilizare a generatorului UDEH —3 nu există o sursă de abur pentru preîncălzirea combustibilului. De aceea, au fost prevăzute două preîncălzitoare electrice, care vor asigura temperatura de 333 K la intrarea în pompe, respectiv 363 K la injector, ambele dotate cu cîte un termostat conectat la bucla de reglare automată a temperaturii combustibilului.

Instalația pentru măsurarea și înregistrarea temperaturilor se compune în principal din două termocuple, care măsoară temperatura mediului fierbinte la intrarea și ieșirea din recipientul sferic, precum și dintr-un număr de

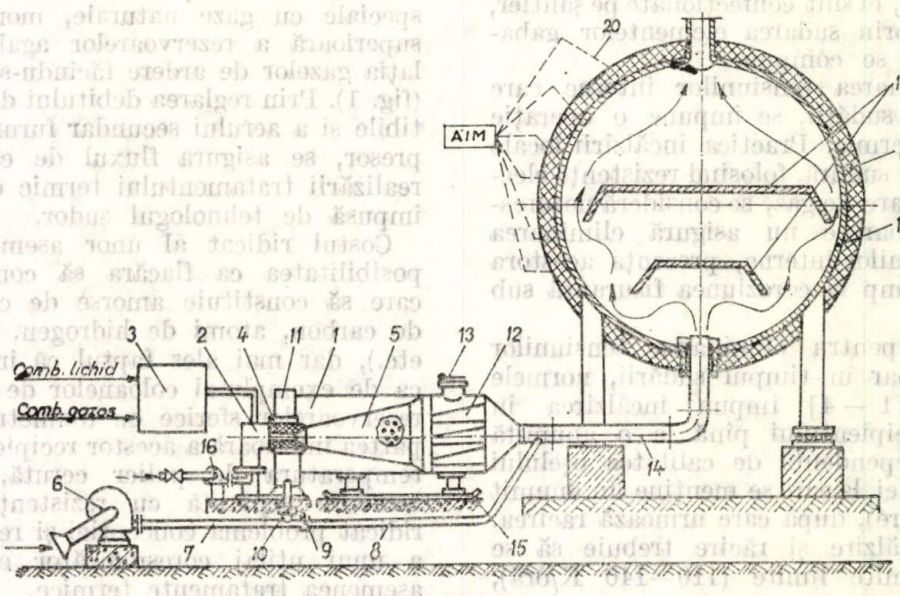


Fig. 2. Schema de principiu a stației de tratamente termice UDEH — 3: 1 — corpul generatorului; 2 — arzătorul; 3 — instalația de alimentare cu combustibil; 4 — ambrazura; 5 — tubul focar; 6 — ventilatorul de aer secundar; 7 și 8 — conducte pentru aer; 9 — șibărul de reglare; 10 — clapetă de închidere; 11 — camera spirală; 12 — palete de turbionare; 13 — clapeta de siguranță; 14 — racord; 15 — sanie; 16 — ventilator pentru aer primar; 17 — peretele sferei; 18 — izolație termică, 19 — deflectoare; 20 — termocuple; AIM — aparatură de înregistrare și măsurare.

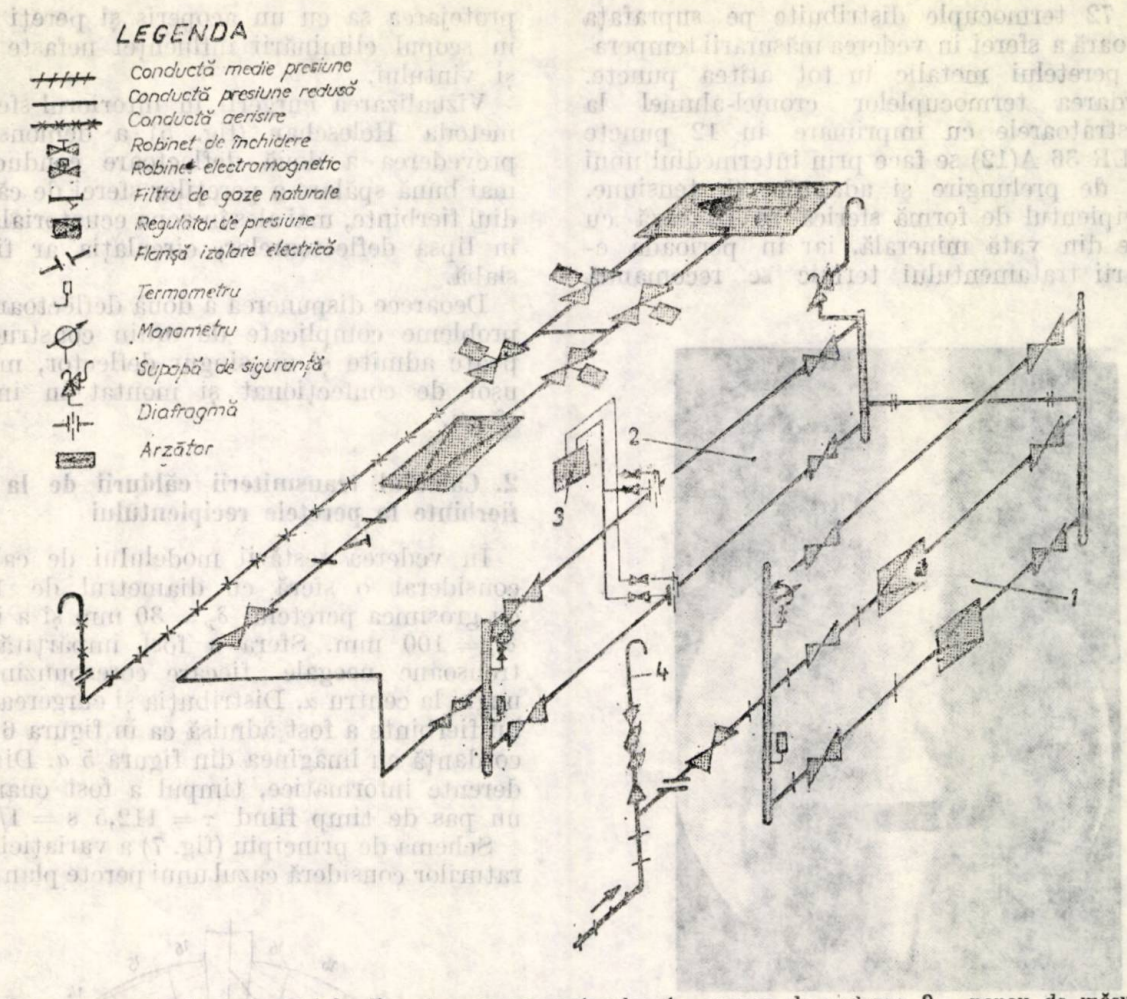


Fig. 3. Schema izometrică a instalației de alimentare cu gaze naturale: 1 — panou de reglare; 2 — panou de măsurare; 3 — contor diferențial; 4 — refulator.

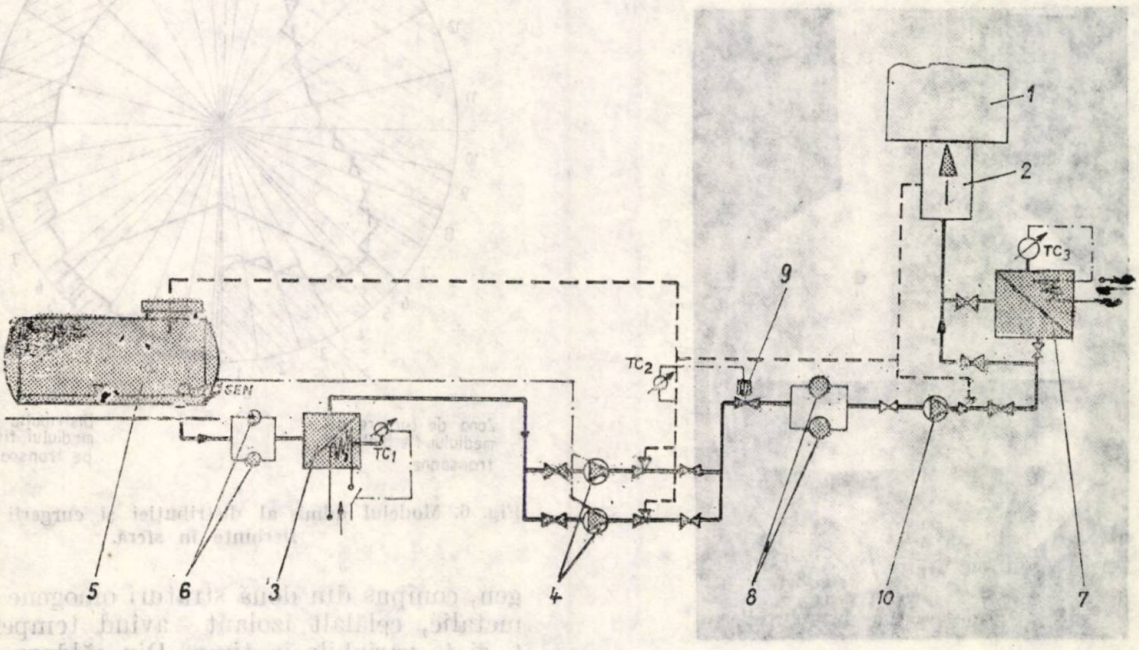
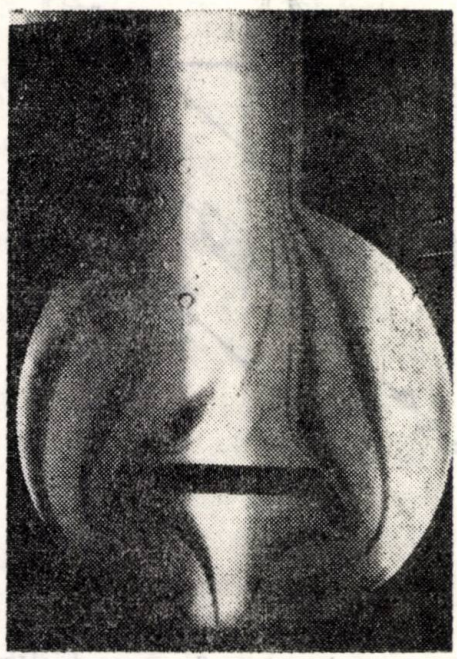


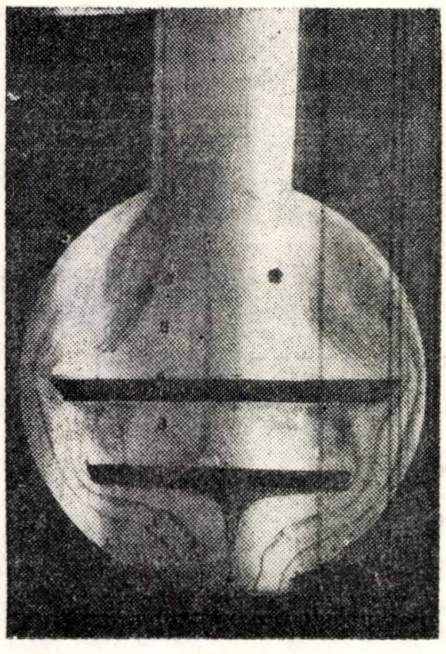
Fig. 4. Schema de alimentare cu combustibil lichid: 1 — generator de gaze calde; 2 — arzător; 3 și 7 — preîncălzitor electric; 4 — pompă booster; 5 — rezervor de depozitare; 6 și 8 — filtre; 9 — ventil electromagnetic; 10 — pompa de înaltă presiune; TC 1, TC 2 și TC 3 — termostate; SEN — semnalizator electric de nivel.

peste 72 termocuple distribuite pe suprafaţa exterioară a sferei în vederea măsurării temperaturii peretelui metalic în tot atîtea puncte. Racordarea termocuplelor cromel-alumel la înregistratoarele cu imprimare în 12 puncte tip ELR 36 A(12) se face prin intermediul unui cablu de prelungire şi adaptor de tensiune.

Recipientul de formă sferică se izolează cu saltele din vată minerală, iar în perioada efectuării tratamentului termic se recomandă protejarea sa cu un acoperiş şi pereţi laterali în scopul eliminării influenţei nefaste a ploii şi vîntului.



a)



b)

Fig. 5. *a*, *b* Vizualizarea curgerii în interiorul sferei.

Vizualizarea curgerii în interiorul sferei prin metoda Heleschau (fig. 5) a demonstrat că prevederea a două deflectoare conduce la o mai bună spălare a pereţilor sferei de către mediul fierbinte, mai ales în zona ecuatorială, unde, în lipsa deflectoarelor, circulaţia ar fi foarte slabă.

Deoarece dispunerea a două deflectoare ridică probleme complicate de ordin constructiv, se poate admite şi un singur deflector, mult mai uşor de confecţionat şi montat în interiorul sferei.

2. Calculul transmiterii căldurii de la mediul fierbinte la peretele recipientului

În vederea testării modelului de calcul s-a considerat o sferă cu diametrul de 12,4 m, cu grosimea peretelui $\delta_p = 30$ mm şi a izolaţiei $\delta_{iz} = 100$ mm. Sfera a fost împărţită în 16 tronsoane neegale, fiecare corespunzînd unui unghi la centru α. Distribuţia şi curgerea mediului fierbinte a fost admisă ca în figura 6 în concordanţă cu imaginea din figura 5 *a*. Din considerente informatice, timpul a fost cuantificat, un pas de timp fiind $\tau = 112{,}5$ s $= 1/32$ ore.

Schema de principiu (fig. 7) a variaţiei temperaturilor consideră cazul unui perete plan neomogen, compus din două straturi omogene — unul metalic, celălalt izolant —avînd temperaturile t_p şi t_{iz} variabile în timp. Din căldura primită de la mediul fierbinte Q_{gp}, la care se adaugă şi cea transmisă de la tronsonul precedent

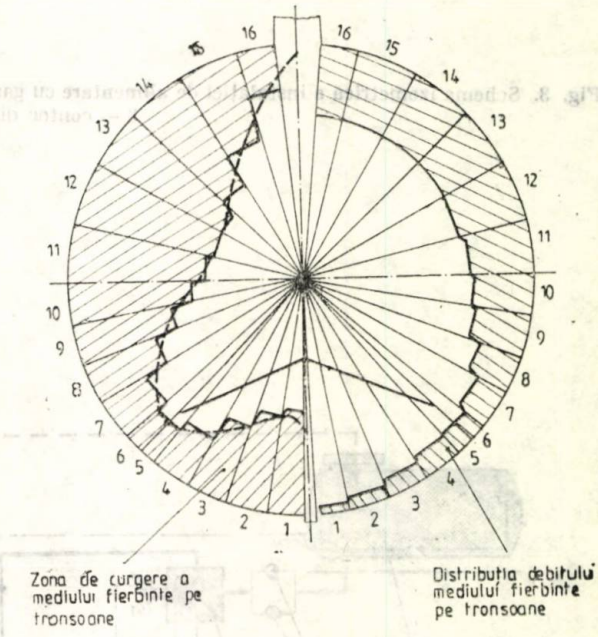


Fig. 6. Modelul admis al distribuţiei şi curgerii mediului fierbinte în sferă.

(Q_{ppF} și $Q_{iz.iz.F}$), o parte este acumulată în peretele metalic $Q_{ac.p}$ și în izolație $Q_{ac.iz}$, o altă parte se transmite tronsonului învecinat (Q_{pp} și $Q_{iz.iz}$), iar restul $Q_{iz.a}$ se elimină în mediul ambiant.

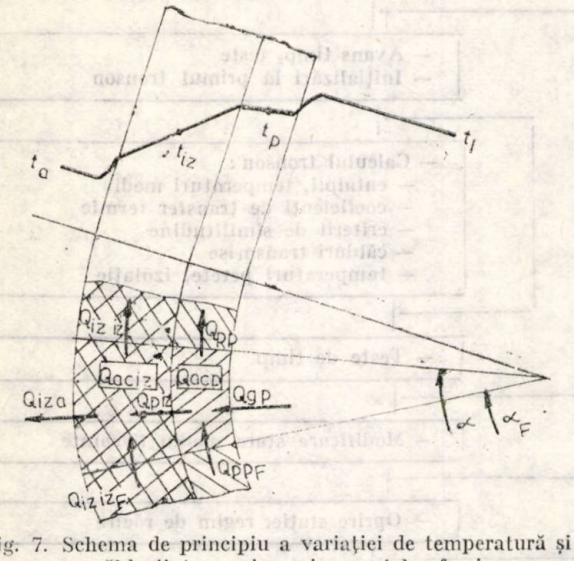


Fig. 7. Schema de principiu a variației de temperatură și a căldurii transmise prin peretele sferei.

Pentru calculul căldurilor transmise s-a considerat că în intervalul de timp τ temperaturile și proprietățile fizice ale tronsoanelor nu variază, transferul de căldură fiind staționar, cu excepția căldurii transmise de la mediul fierbinte la perete Q_{gp}. După trecerea timpului τ se determină pe baza unui bilanț căldurile acumulate în perete și izolație și se consideră că temperatura acestora variază în salt la sfîrșitul intervalului τ.

Cu aceste considerații relațiile de calcul sînt următoarele :

a — căldura transmisă de la perete la izolație :

$$Q_{p\,iz} = \frac{t_p - t_{iz}}{\frac{\delta_p}{2\lambda_p} + \frac{\delta_{iz}}{2\lambda_{iz}}} \cdot S_{pe}\tau \ [\mathrm{J}], \qquad (1)$$

unde : λ_p și λ_{iz} sînt conductivitatea termică a peretelui și izolației, în W/mK ;

S — suprafața peretelui la exterior, în m^2 ;

b — căldura transmisă de la izolație la mediul ambiant :

$$Q_{iz.a} = \frac{t_{iz} - t_a}{\frac{\delta_{iz}}{2\lambda_{iz}} + \frac{1}{\alpha_a}} \cdot S_{iz.e}\tau \ [\mathrm{J}], \qquad (2)$$

unde : α_a este coeficientul de transfer termic de la izolație la mediul ambiant, în W/m^2K ;

$S_{iz.e}$ — suprafața izolației la exterior, în m^2 ;

c — căldura evacuată prin conducție în tronsonul de perete metalic :

$$Q_{pp} = \frac{t_p - t_{px}}{\frac{\delta_a}{2\lambda_p} + \frac{\delta_{px}}{2\lambda_{px}}} S_{pp}\tau \ [\mathrm{J}], \qquad (3)$$

unde cu „x" au fost indexate mărimile corespunzătoare tronsonului următor, iar S_{pp} reprezintă suprafața secțiunii peretelui metalic prin care căldura se transmite prin conducție tronsonului următor.

Pentru simplificare, căldura intrată prin conducție în tronsonul considerat Q_{ppF} se consideră egală cu cea evacuată Q_{pp}. În mod similar căldura evacuată prin conducție în tronsonul de izolație următor $Q_{iz.iz}$ se consideră egală cu cea intrată prin conducție din tronsonul precedent $Q_{iz.iz.F}$.

Încercarea de a calcula căldura transmisă de la gaz la perete pe baza acelorași considerații anterioare, respectiv cu relația :

$$Q_{gp} = \frac{t_l - t_p}{\frac{1}{\alpha_g} + \frac{\delta_p}{2\lambda_p}} S_{pl} \cdot \tau \ [\mathrm{J}], \qquad (4)$$

unde α_g este coeficientul de transfer termic de la gaz la perete, în W/m^2 K, a condus la rezultate inacceptabile, caracterul nestaționar manifestîndu-se pregnant. Pentru calculul căldurii Q_{gp} a fost necesară adaptarea teoriei schimbătoarelor de căldură cu acumulare [8, 9], în echicurent, cu observația că în locul variației temperaturii fluidelor de lucru de-a lungul suprafeței de încălzire, prin analogie, s-a considerat variația acestora în timp. Ca urmare, căldura transmisă de la gaz la perete s-a stabilit cu relația :

$$Q_{gp} = C_1\theta(t_1' - t_2'), \qquad (5)$$

în care :

$$\theta = \frac{1 - e^{-\varkappa(1+\mu)}}{1+\mu}, \qquad (6)$$

$$\varkappa = \frac{SK}{C_1}, \qquad (7)$$

$$\mu = \frac{C_1}{C_2}. \qquad (8)$$

În relațiile (5) — (8), notațiile au următoarea semnificație :

C_1, C_2 — capacitatea calorică a mediului cald și corpului sferei, în J/K ;

S — suprafața interioară a sferei, în m^2 ;

K — coeficientul global de transfer termic, în W/m^2K.

Pe baza celor de mai sus căldura acumulată în perete și în izolație rezultă :

$$Q_{ac.p} = Q_{gp} - Q_{piz} + Q_{ppF} - Q_{pp} \ [\mathrm{J}], \qquad (9)$$

$$Q_{ac.iz} = Q_{pizi} - Q_{ize} + Q_{iz.iz.F} - Q_{iz.iz} \ [\mathrm{J}]. \qquad (10)$$

Temperatura peretelui, respectiv izolației, la sfîrșitul pasului de timp s-a calculat cu relațiile :

$$t_p = t_{p_{inițial}} + \frac{Q_{ac.p}}{m_p\, c_p} \ [^\circ\mathrm{C}], \qquad (11)$$

$$t_{iz} = t_{iz_{inițial}} + \frac{Q_{ac.iz}}{m_{iz}\, c_{iz}} \ [^\circ\mathrm{C}], \qquad (12)$$

unde :

m_p și m_{iz} sînt masa corpului, respectiv izolației, aferentă unui tronson, în kg ;

c_p și c_{iz} — capacitățile calorice specifice ale corpului și izolației, în J/kg.

Notînd cu B [m³*/h sau kg/h] consumul de combustibil, entalpia mediului fierbinte la sfîrșitul pasului de timp se obține din relația :

$$I_{vot} = I_{vot\,inițial} - \frac{1}{32}\,\frac{Q_{ap}}{1000\ B}\left[\frac{K}{m^{3*}}, \frac{K}{kg}\right] \quad (13)$$

de unde rezultă temperatura acestuia din diagrama entalpie—temperatură, trasată pentru combustibilul folosit.

3. Descrierea modelului de calcul

În vederea modelării pe calculator a procesului de tratament termic al unei sfere s-au făcut următoarele considerații :

a) mediul fierbinte este introdus în interiorul sferei și spală sfera de jos în sus ;

b) distribuția mediului fierbinte rezultă dintr-o modelare experimentală în funcție de numărul și forma deflectoarelor introduse în interiorul sferei și pentru program este dată inițial ;

c) temperatura mediului fierbinte la intrarea în sferă variază în timp, în funcție de debitul de combustibil ars și debitul de aer secundar introdus, iar pentru program este dată inițial ;

d) caracteristicile mediului fierbinte derivă din caracteristicile gazelor de ardere, ceea ce face modelul independent de combustibil ;

e) valoarea coeficientului de transfer de la mediul fierbinte la peretele sferei s-a stabilit pe baza relațiilor folosite în mod uzual [7, 9] cu luarea în considerație atît a convecției, cît și a radiației gazelor triatomice.

Schema bloc a programului de calcul este prezentată în figura 8.

Pentru teste s-a cerut listarea temperaturii tuturor tronsoanelor din jumătate în jumătate de oră. S-a studiat influența izolației termice pentru două cazuri limită ($\lambda_{iz} = 0{,}06$ W/m²K și $\lambda_{iz} = 0{,}25$ W/m²K) stabilindu-se, de fiecare dată, cum trebuie să varieze în timp debitul de combustibil și temperatura mediului fierbinte la intrarea în sferă, pentru a se realiza o viteză de încălzire în limitele admise și a se atinge, respectiv a se menține timp suficient, temperatura de palier.

Schema bloc a programului și listingurile obținute prin rularea pe un calculator FELIX C-256 sînt cuprinse în lucrarea [10]. Rezultatele calculelor pentru cele două cazuri de izolare a

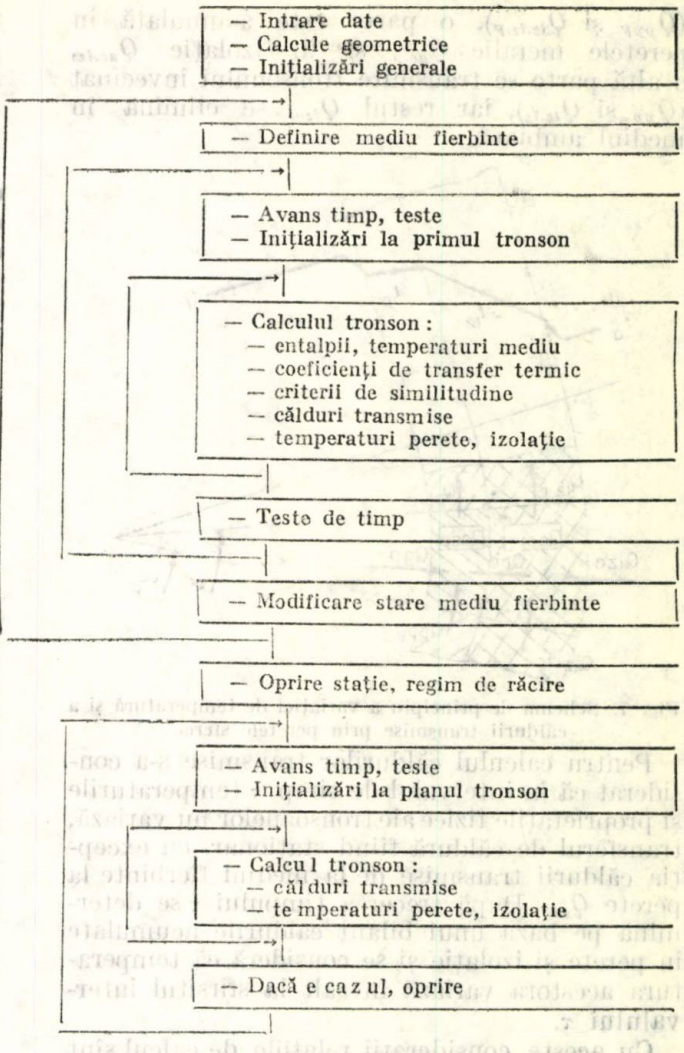


Fig. 8. Schema bloc a programului de calcul.

sferei sînt redate în figurile 9 și 10, în care s-au reprezentat variațiile debitului de combustibil și ale temperaturilor tronsoanelor 1 și 16, respectiv ale mediului fierbinte, în funcție de timp.

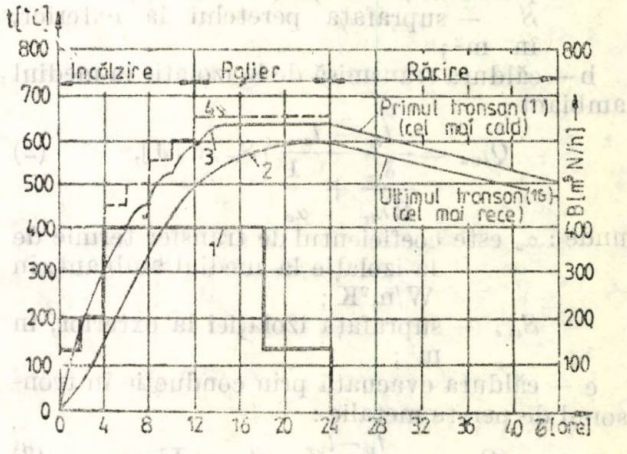


Fig. 9. Variația debitului de combustibil și a temperaturi peretelui sferei și mediului fierbinte pentru $\lambda_{iz} = 0{,}06$ W/m²K

* m² în condiții normale de presiune și temperatură

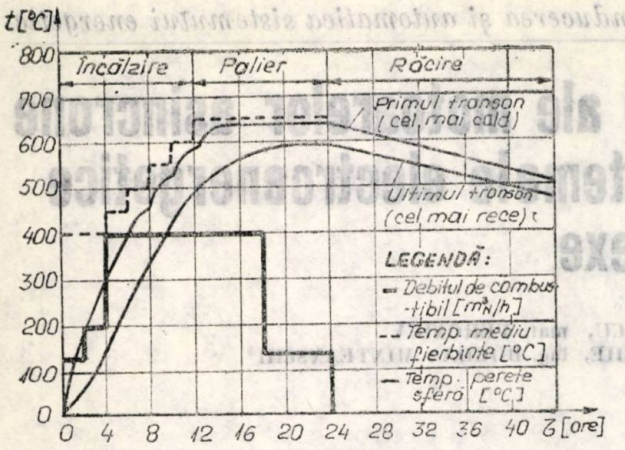


Fig. 10. Variația debitului de combustibil și a temperaturii peretelui sferei și mediului fierbinte pentru $\lambda_{fz} = 0{,}25$ W/m²K.

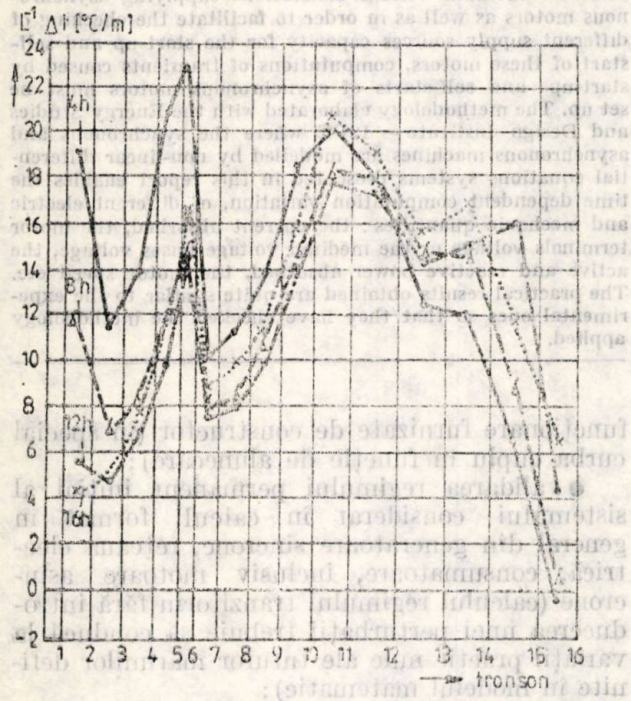


Fig. 11. Variația temperaturii pe metru linear de-a lungul unui semimeridian al sferei pentru $\lambda_{fz} = 0{,}25$ W/m²K.

Din examinarea figurilor 9 și 10 se constată că în ambele cazuri temperatura impusă de 600°C pentru peretele sferei poate fi atinsă (chiar și de către cel mai rece tronson), dar cu consumuri energetice diferite. Pentru o izolare mai slabă a sferei este necesar un consum de combustibil cu circa 22% mai mare și o temperatură mai ridicată a mediului fierbinte.

Variația în trepte a temperaturii mediului fierbinte, obținută prin modificarea debitului de combustibil și mai ales a debitului de aer secundar injectat în gazele de ardere, se resimte și în variația temperaturii primului tronson, dar pentru cele următoare se estompează și dispare. Curbele de variație a temperaturii tronsoanelor permit să se stabilească ușor vitezele de încălzire, respectiv răcire, precum și diferența de temperatură dintre tronsonul cel mai cald și cel mai rece.

În figura 11 s-a reprezentat variația temperaturii pe metru linear în direcția meridianului sferei pentru intervale de timp alese din 4 în 4 ore. Se constată că în toate cazurile acest indicator se situează sub limita maximă admisă de norme (27—33 K/m) chiar și la începutul încălzirii, cînd situația este cea mai puțin favorabilă, dar, pe măsura scurgerii timpului, se înregistrează o ameliorare.

Programul de calcul poate fi adaptat oricăror legități impuse pentru variația debitului de combustibil și a temperaturii mediului fierbinte și ca urmare, se pot prestabili diverse variante de lucru, dintre care se reține cele compatibile cu condițiile impuse de normele internaționale [1 — 4] și care asigură în același timp consumul energetic minim. În felul acesta se poate face o optimizare a procesului, iar operatorul stației cunoaște încă de la început programul de lucru pe care trebuie să-l execute și urmărește rezultatele pe baza curbelor de variație a temperaturii punctelor în care au fost plantate termocuplele pe suprafața sferei.

Concluzii

Cercetările teoretice și experimentale pe modele, stație pilot și la scară industrială au permis realizarea unei instalații de tratament termic după sudarea corpurilor agabaritice prin încălzirea integrală cu un mediu fierbinte după o tehnologie originală asistată de calculator. Procedeul propus a fost aplicat cu succes la detensionarea unor camere de cocsare, a unor rezervoare cilindrice și chiar la uscarea unor betoane refractare.

Bibliografie

[1] * * * ASME — S VIII D1, par. UCS 56 e.

[2] * * * ASME — S VIII D2, par. AF 405.

[3] * * * ISO DIS 2694, par. 33.17.

[4] — B.S. 5500—76, par. 4.4.5.4.

[5] Drug, C. Ungureanu, C. *Cercetări experimentale privind schimbul de căldură într-un rezervor cilindric încălzit cu gaze de ardere.* In: Bulet nul ști nț f c și tehn c al Inst tutulu Pol tehn c T m șoara, tom 25 (39), Seria mecanică, p. 73—77.

[6] Ungureanu C., Hinsa, M., Echim, I., Drug, C. *Procedeu și instalație pentru tratamente termice și generator de mediu termic.* Brevet de invenție 88040/30.06.84.

[7] Ungureanu, C. *Generatoare de abur pentru instalații energetice, clasice și nucleare.* Editura D dactică și Pedagog că, București, 1977.

[8] Theil, H. *Utilaje termice.* vol. I, Litografia IPTVT., T m șoara 1981.

[9] * * * VDI — Wärmeatlas — VDI Verlag, 1974.

[10] * * * *Studii și cercetări asupra tratamentului termic de detensionare după sudarea corpului integral cu mediu fierbinte, provenit din arderea combustibilului lichid, a rezervoarelor gabaritice și agabaritice, cilindrice, sferice etc.* Lucrarea I.P.T.V. T m șoara, Catedra TMTR.

(Primit la 9 iulie 1988, acceptat la 3 octombrie 1988)

Analiza regimurilor tranzitorii ale motoarelor asincrone funcționînd conectate în sistemele electroenergetice complexe

Dr. ing. SEBASTIAN IONESCU, mat. VERONICA TETELBAUM, ing. OCTAVIAN GHEORGHE, ing. BOGDAN MINTEANSCHI*

Descriptori : motoare asincrone, regimuri tranzitorii

CZ : 621.313 333 : 621.3.015.3.

Pentru alegerea fundamentată a măsurilor de protecție și automatizare aferente stațiilor de m.t. care alimentează motoare asincrone, precum și pentru a se putea verifica capacitatea diverselor surse de alimentare de a asigura pornirea și autopornirea acestor motoare, trebuie efectuate calcule de regimuri tranzitorii provocate de porniri și autoporniri ale motoarelor asincrone. Metodologia elaborată în ISPE, în care mașinile sincrone și asincrone sînt modelate prin sistemele de ecuații diferențiale neliniare prezentate în lucrare, permite calculul variației în funcție de timp a diverselor mărimi electrice și mecanice caracteristice : curentul absorbit, tensiunea la bornele motorului sau pe barele de m.t., puterea activă și reactivă absorbită, viteza motorului etc. Rezultatele obținute, care sînt în bună concordanță cu cele experimentale, au validat metodologia utilizată în cadrul institutului.

For the adequate choice of protection and automation mea sures for medium voltage substations supplying asynchronous motors as well as in order to facilitate the checking of different supply sources capacity for the start-up and self-start of these motors, computations of transients caused by start-ups and self-starts of asynchronous motors must be set up. The methodology elaborated with the Energy Studies and Design Institute — ISPE where the synchronous and asynchronous machines are modelled by non-linear differential equations systems presented in this report enables the time dependent computation variation, of different electric and mechanic quantities : the current absorbed, the motor terminals voltage or the medium voltage buses voltage, the active and reactive power absorbed, the motor speed etc. The practical results obtained are quite similar to the experimental ones so that they have checked the methodology applied.

Introducere

Lucrarea prezintă metoda de calcul utilizată în ISPE pentru analiza comportării motoarelor asincrone în regimuri tranzitorii.

Metoda se aplică la studiul regimurilor tranzitorii ale serviciilor proprii din centralele electrice, clasice și nucleare, în care intervin preponderent motoare asincrone alimentate de la bornele generatorului sau din sistemul energetic, pentru stabilirea condițiilor necesare de pornire și autopornire. De asemenea, permite analiza regimurilor de pornire a motoarelor sincrone la care este prevăzută pornirea în regim asincron, precum și analiza regimurilor tranzitorii ale generatoarelor asincrone cu care sînt echipate majoritatea microhidrocentralelor din sistemul energetic național.

Metoda comportă parcurgerea a trei etape de calcul :

- determinarea, pe baza datelor de catalog, a parametrilor schemei echivalente a fiecărei mașini asincrone, care asigură verificarea cu o precizie corespunzătoare a caracteristicilor de funcționare furnizate de constructor (în special curba cuplu în funcție de alunecare);
- validarea regimului permanent inițial al sistemului considerat în calcul, format în general din generatoare sincrone, rețeaua electrică, consumatoare, inclusiv motoare asincrone (calculul regimului tranzitoriu fără introducerea unei perturbații trebuie să conducă la variații practic nule ale tuturor mărimilor definite în modelul matematic);
- calculul regimului tranzitoriu, conform unui scenariu prestabilit, în care apar secvențial defecte (scurtcircuite), deconectări, reanclanșări etc.

În cadrul lucrării se prezintă modelul matematic utilizat pentru simularea comportării mașinilor asincrone în regimuri permanente și tranzitorii, principiul programelor de calcul, rezultatele comparative obținute în cazurile în care s-a dispus de date de referință măsurate la standul de probe și care au permis validarea metodologiei, precum și unele aplicații mai semnificative.

1. Model matematic pentru simularea comportării în regim tranzitoriu a motorului asincron

Ecuațiile diferențiale neliniare care modelează regimul tranzitoriu electromagnetic al

* Dr. ing. Sebastian Ionescu, mat. Veronica Tetelbaum, ing. Octavian Gheorghe, ing. Bogdan Minteanschi — Institutul de Studii și Proiectări Energetice, București

unui motor asincron sînt cele stabilite în lucrarea [1]:

$$\left.\begin{aligned} T_2 \cdot \frac{dE'_d}{dt} &= -s \cdot \omega \cdot T_2 \cdot E'_q - E'_d + \\ &+ \frac{x - x'}{r_1^2 + x'^2}[x' \cdot (V_d - E'_d) + r_1(V_q - E'_q)] \\ T_2 \cdot \frac{dE'_q}{dt} &= s \cdot \omega \cdot T_2 \cdot E'_d - E'_q - \\ &- \frac{x - x'}{r_1^2 + x'^2}[r_1(V_d - E'_d) - x'(V_q - E'_q)] \end{aligned}\right| \quad (1)$$

în care:

E'_q, E'_d sînt tensiunile electromotoare tranzitorii în sistemul de coordonate (q, d) care se rotește cu viteza unghiulară sincronă ω;

V_q, V_d — componentele tensiunii la bornele motorului în același sistem de coordonate;

s — alunecarea motorului;

r_1 — rezistența înfășurării statorice;

x — reactanța de regim permanent;

x' — reactanța de regim tranzitoriu;

T_2 — constanta de timp a înfășurării rotorice.

Mărimile x, x' și T_2 se pot exprima în funcție de parametrii schemei echivalente clasice a motorului asincron [1]:

$$x = x_1 + x_m; \quad (2)$$

$$x' = x'(s) = x_1 + \frac{x'_2(s) \cdot x_m}{x'_2(s) + x_m}; \quad (3)$$

$$T_2 = T_2(s) = \frac{x_m + x'_2(s)}{\omega \cdot r'_2(s)}, \quad (4)$$

în care:

x_1 este reactanța de scăpări a înfășurării statorice;

x_m — reactanța de magnetizare;

$r'_2(s)$, $x'_2(s)$ — rezistența, respectiv reactanța de scăpări ale înfășurării rotorice, raportate la stator; aceste mărimi sînt dependente de frecvența curentului din rotor și pot fi determinate cu o bună precizie folosind relațiile [2]:

$$r'_2(s) = k_r(s) \cdot r'_2(s = s_0),$$

$$x'_2(s) = k_x(s) \cdot x'_2(s = s_0),$$

unde:

$k_r(s)$ și $k_x(s)$ sînt coeficienți care variază liniar cu alunecarea:

$$k_r(s) \cong a_r \cdot s + b_r;$$

$k_x(s) \cong a_x \cdot s + b_x$, iar $r_2(s = s_0)$, $x'_2(s = s_0)$ reprezintă rezistența, respectiv reactanța de scăpări ale înfășurării rotorice, raportate la stator, pentru alunecarea din regimul permanent de funcționare $s = s_0$, apropiată de alunecarea nominală.

În modelul matematic al motorului asincron intervine de asemenea ecuația diferențială care simulează regimul tranzitoriu electromecanic, de forma:

$$T_j \frac{ds}{dt} = C_m - C_e, \quad (5)$$

în care:

T_j este timpul de lansare a motorului și agregatului antrenat;

C_e — cuplul electromagnetic transmis rotorului raportat la cuplul nominal al motorului C_n:

$$C_e = \frac{P_e}{\omega \cdot C_n}.$$

Puterea electromagnetică are expresia [1]:

$$P_e = \frac{r_1(V_d - E'_d) - x'(V_q - E'_q)}{r_1^2 + x'^2} \cdot E'_d + \frac{r_1(V_q - E'_q) + x'(V_d - E'_d)}{r_1^2 + x'^2} \cdot E'_q. \quad (6)$$

Cuplul mecanic (rezistent) este considerat de forma:

$$C_m = C_p + (C_s - C_p)(1 - s)^2, \quad (7)$$

în care:

$C_p = C_m(s = 1)$ — cuplul rezistent la pornirea motorului;

$C_s = C_m(s = 0)$ cuplul rezistent pentru $s = 0$. C_s se determină din condiția ca în regimul inițial, adică pentru $s = s_0$, $C_m = C_{mo} = C_{e0}$, deci:

$$C_s = C_p + \frac{C_{mo} - C_p}{(1 - s_0)^2},$$

în care cuplul de pornire se presupune cunoscut.

Relațiile (1) și (5) formează un sistem de trei ecuații diferențiale neliniare, de ordinul 1, din care prin integrare numerică, pas cu pas, se determină variațiile în funcție de timp ale mărimilor de stare E'_q, E'_d și s, la modificări ale tensiunii aplicate statorului

$$\underline{V} = V_q + jV_d.$$

Se face observația importantă că sistemul de coordonate sincron (q, d) adoptat pentru scrierea ecuațiilor de funcționare ale unui

motor asincron poate fi considerat ca sistemul general de coordonate $(+1, +j)$, axa q corespunzînd axei reale $(+1)$, iar axa d axei imaginare din planul complex. În aceste condiții sînt valabile și următoarele relații fazoriale, care modelează funcționarea motorului asincron [1]:

• în regimuri permanente și tranzitorii

$$\underline{V} = (r_1 + \mathrm{j}x') \cdot \underline{I}_1 + \underline{E}'; \quad (8)$$

$$\underline{E} = \underline{E}' - j(x - x') \cdot \underline{I}_1; \quad (9)$$

• în regimuri permanente

$$\underline{E} + js \cdot \omega \cdot T_2 \cdot \underline{E}' = 0 \quad (10)$$

în care:

$\underline{V} = V_q + j \cdot V_d$ — fazorul tensiunii aplicate la bornele motorului;

$\underline{E} = E_q + \mathrm{j}E_d$ — fazorul tensiunii electromotoare de regim permanent;

$\underline{E}' = E'_q + \mathrm{j}E'_d$ — fazorul tensiunii electromotoare tranzitorii.

2. Algoritmul de calcul al regimurilor tranzitorii

Modelul matematic al funcționării motorului asincron este utilizat în cadrul unui algoritm general de calcul care permite determinarea regimurilor tranzitorii din sistemele energetice complexe, la apariția unor perturbații succesive (scurtcircuite, deconectări, reanclanșări etc.).

Algoritmul ia în considerare existența a trei categorii de noduri ale rețelei;

— noduri g, la care sînt conectate generatoare sincrone;

— noduri m, la care sînt conectate motoare asincrone;

— noduri c, de tip consumator, reprezentate prin caracteristici de putere activă și reactivă dependente de tensiunea nodului.

În nodurile de tip g și m pot să fie considerate suplimentar și caracteristici specifice nodurilor consumatoare.

Conform relației (8) motorul asincron poate fi reprezentat prin schema din figura 1 *a*, tensiunea electromotoare $\underline{E}' = \underline{E}'_q + j\underline{E}'_d$ fiind variabilă în timpul regimului tranzitoriu. Acestei schema îi corespunde schema echivalentă din figura 1 *b*, în care s-a definit injectorul de curent $\frac{\underline{E}'}{r_1 + jx'}$ în paralel cu admitanța tranzitorie a motorului $\frac{1}{r_1 + jx'}$ (cu $\underline{E}'$ și x' variabile în timp).

Generatoarele sincrone se modelează prin tensiuni electromotoare supratranzitorii E'' (variabile în timp) în spatele reactanțelor supratranzitorii x'' [3], cu considerarea fenomenelor electromecanice și electromagnetice din generator, ca și a influenței sistemelor de excitație și de admisie a agentului motor.

În aceste condiții, unei scheme a rețelei reprezentată simbolic ca în figura 2 *a*, îi corespunde schema echivalentă de calcul din figura 2 *b*, în care, pentru simplificare, consumatorii au fost considerați sub forma unor admitanțe constante.

Ecuațiile nodale ale rețelei echivalente din figura 3 *b* au următoarea formă matricială:

$$\begin{array}{c|c|c|c|c|c} & c & g & m & & \\ \hline c & [y_{cc}] & [y_{cg}] & [y_{cm}] & [\underline{V}_c] & \\ \hline g & [y_{gc}] & [y_{gg}] & [y_{gm}] & [\underline{V}_g] & = \\ \hline m & [y_{mc}] & [y_{mg}] & [y_{mm}] & [\underline{V}_m] & \end{array}$$

$$= \begin{array}{c|c} c & [0] \\ \hline g & [\underline{E}''/jx''] \\ \hline m & [\underline{E}'/(r_1 + jx')] \end{array} \quad (11)$$

în care termenii diagonali ai matricei de admitanță conțin și admitanțele nod-pământ corespunzătoare consumatorilor din nodurile c, g și m.

Prin ipoteză, se admite că regimul permanent (anterior perturbației) al rețelei a fost calculat,

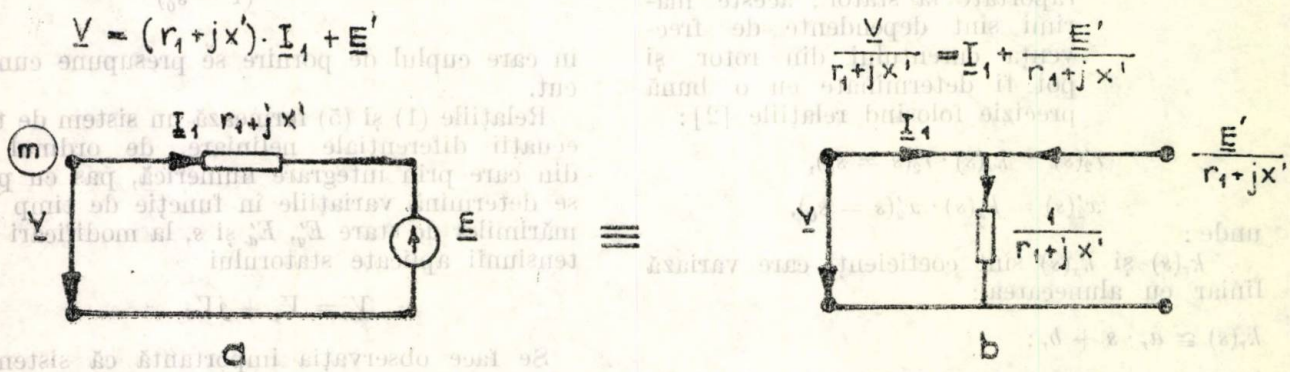


Fig. 1. Schema echivalentă a motorului asincron în regim tranzitoriu.

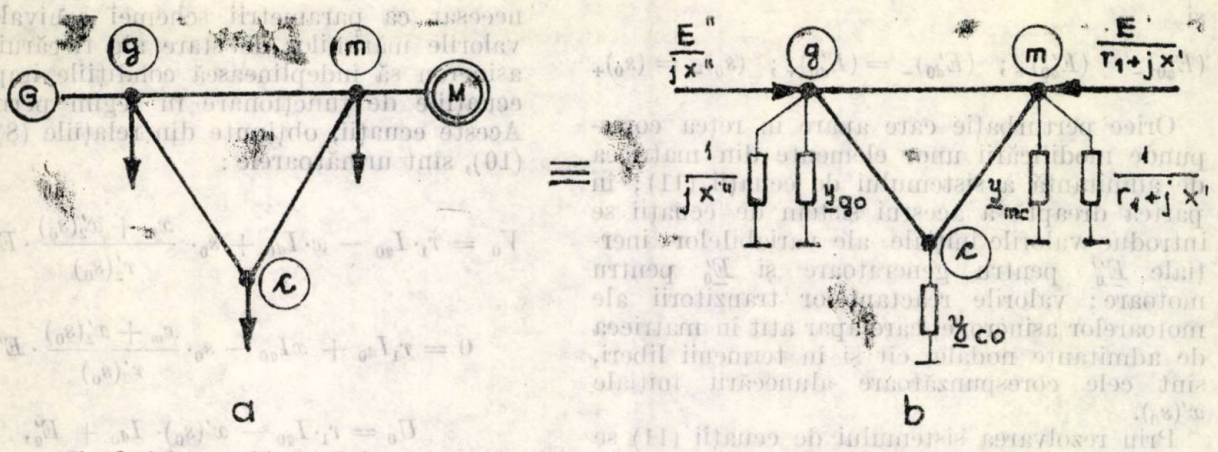


Fig. 2. Schema echivalentă de calcul a unei rețele complexe (reprezentată simbolic) în regim tranzitoriu.

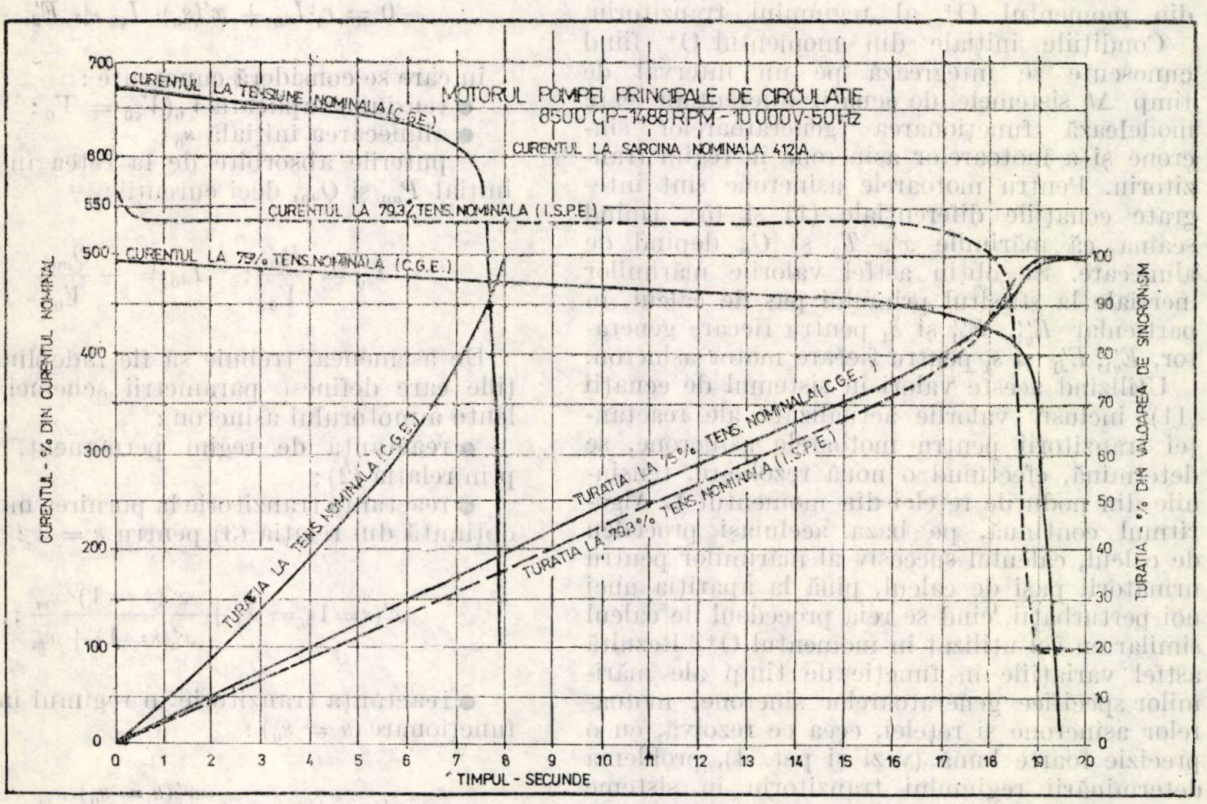


Fig. 3. Comparație între curbele de pornire determinate de Canadian General Electric la Peterborough și calculate de ISPE București.

astfel că sînt cunoscute :

— puterile active și reactive debitate de generatoarele sincrone, precum și cele absorbite de motoarele asincrone și de ceilalți consumatori ;

— tensiunile (modul și argument) în nodurile rețelei.

Regimul permanent al fiecărui generator conectat la rețea se determină folosind relațiile date în [3].

Pentru motoarele asincrone, datorită faptului că parametrii rotorului sînt funcție de alunecare, procedeul de calcul este mai laborios și este prezentat în continuare.

La sfîrșitul calculului de regim permanent care caracterizează momentul O^- (anterior perturbației) sînt cunoscute mărimile inerțiale :

— pentru fiecare generator componentele t.e.m. supratranzitorii în axele d, q proprii fiecărei mașini sincrone E''_{q0}, E''_{d0} și unghiul intern δ_0, care permit calculul t.e.m. E''_0 ;

— pentru fiecare motor asincron E'_{q0}, E'_{d0} (deci t.e.m. $\underline{E}'_0$) alunecarea inițială s_0, precum și reactanța tranzitorie $x'(s_0)$.

Deoarece mărimile inerțiale sînt invariante imediat după apariția unei perturbații, există relațiile :

$$(E''_{q0})_- = (E''_{q0})_+ \; ; \quad (E''_{d0})_- = (E''_{d0})_+ \; ; \quad (\delta_0)_- = (\delta_0)_+$$

și

$$(E'_{q0})_- = (E'_{q0})_+ ; \quad (E'_{d0})_- = (E'_{d0})_+ ; \quad (s_0)_- = (s_0)_+$$

Orice perturbație care apare în rețea corespunde modificării unor elemente din matricea de admitanță a sistemului de ecuații (11); în partea dreaptă a acestui sistem de ecuații se introduc valorile inițiale ale variabilelor inerțiale $\underline{E}''_0$ pentru generatoare și $\underline{E}'_0$ pentru motoare; valorile reactanțelor tranzitorii ale motoarelor asincrone, care apar atît în matricea de admitanțe nodale, cît și în termenii liberi, sînt cele corespunzătoare alunecării inițiale $x'(s_0)$.

Prin rezolvarea sistemului de ecuații (11) se calculează tensiunile în toate nodurile rețelei din momentul 0^+ al regimului tranzitoriu.

Condițiile inițiale din momentul 0^+ fiind cunoscute se integrează pe un interval de timp Δt sistemele de ecuații diferențiale care modelează funcționarea generatoarelor sincrone și a motoarelor asincrone în regim tranzitoriu. Pentru motoarele asincrone sînt integrate ecuațiile diferențiale (1) și (5), ținînd seama că mărimile x', T_2 și C_m depind de alunecare. Se obțin astfel valorile mărimilor inerțiale la sfîrșitul primului pas de calcul, în particular E''_{q1}, E''_{d1} și δ_1 pentru fiecare generator, E'_{q1}, E'_{d1} și s_1 pentru fiecare motor asincron.

Utilizînd aceste valori în sistemul de ecuații (11), inclusiv valorile actualizate ale reactanței tranzitorii pentru motoarele asincrone, se determină, efectuînd o nouă rezolvare, tensiunile din nodurile rețelei din momentul 1. Algoritmul continuă, pe baza aceluiași procedeu de calcul, calculul succesiv al mărimilor pentru următorii pași de calcul, pînă la apariția unei noi perturbații, cînd se reia procedeul de calcul similar cu cel utilizat în momentul 0^+. Rezultă astfel variațiile în funcție de timp ale mărimilor specifice generatoarelor sincrone, motoarelor asincrone și rețelei, ceea ce rezolvă, cu o precizie foarte bună (vezi și pct. 4), problema determinării regimului tranzitoriu în sisteme energetice complexe. Programul corespunzător, realizat în cadrul Centrului de calcul electronic din ISPE și denumit REDINA (**RE**gimuri **DINA**mice), are următoarele performanțe:

- număr maxim de generatoare sincrone: 75;
- număr maxim de motoare asincrone: 50;
- număr maxim de noduri ale rețelei: 200;
- durata calculului pentru o rețea cu 81 noduri, 10 generatoare sincrone și 20 motoare asincrone, pentru simularea unui timp real de 3 secunde, este de 18 minute la un calculator FELIX-C 1024.

3. Regimul permanent de funcționare a motorului asincron

Pentru a evita apariția unor erori semnificative în calculul regimurilor tranzitorii este necesar ca parametrii schemei echivalente valorile mărimilor de stare ale fiecărui mot asincron să îndeplinească condițiile impuse ecuațiile de funcționare în regim permaner Aceste ecuații, obținute din relațiile (8), (9) (10), sînt următoarele:

$$V_0 = r_1 \cdot I_{q0} - x \cdot I_{d0} + s_0 \cdot \frac{x_m + x'_2(s_0)}{r'_2(s_0)} \cdot E'_d, \quad (1$$

$$0 = r_1 I_{d0} + x I_{q0} - s_0 \cdot \frac{x_m + x'_2(s_0)}{r'_2(s_0)} \cdot E'_q, \quad (1$$

$$U_0 = r_1 \cdot I_{q0} - x'(s_0) \cdot I_{d0} + E'_q, \quad (1$$

$$0 = r_1 \cdot I_{d0} + x'(s_0) \cdot I_{q0} + E'_d, \quad (1$$

în care se consideră cunoscute:

- tensiunea aplicată V_0 ($V_{q0} = V_0$; $V_{d0} = 0$
- alunecarea inițială s_0;

— puterile absorbite de la rețea în regim inițial P_{a0} și Q_{a0}, deci curenții:

$$I_{q0} = \frac{P_{a0}}{V_0}; \quad I_{d0} = -\frac{Q_{a0}}{V_0}; \quad (1$$

De asemenea, trebuie să fie îndeplinite rela țiile care definesc parametrii schemei echiva lente a motorului asincron:

- reactanța de regim permanent, definit prin relația (2);
- reactanța tranzitorie la pornirea motorulu obținută din relația (3) pentru $s = 1$:

$$x'(s=1) = x_1 + \frac{x'_2(s=1) \cdot x_m}{x'_2(s=1) + x_m}; \quad (17$$

- reactanța tranzitorie în regimul inițial d funcționare ($s = s_0$):

$$x'(s=s_0) = x_1 + \frac{x'_2(s=s_0) \cdot x_m}{x'_2(s=s_0) + x_m}; \quad (18$$

- rezistența rotorului, raportată la stato pentru $s = 1$:

$$r'_2(s=1) = k_r(s=1) \cdot r'_2(s=s_0); \quad (19$$

- rezistența totală a schemei echivalentă motorului pentru $s = 1$:

$$r_{sc} = r_1 + r'_2(s=1). \quad (20$$

Din relațiile (19) și (20) rezultă:

$$r'^2_2(s=s_0) = \frac{r'_2(s=1)}{k_r(s=1)} = \frac{r_{sc} - r_1}{k_r(s=1)}. \quad (21$$

Înlocuind relațiile (18) și (21) în ecuațiile 2) – (15) se obține :

$$V_0 = r_1 \cdot I_{q0} - x \cdot I_{d0} + s_0 \cdot \frac{x_m + x'_2(s_0)}{r_{sc} - r_1} \cdot E'_d, \qquad (22)$$

$$= r_1 \cdot I_{d0} + x \cdot I_{q0} - s_0 \frac{x_m + x'_2(s_0)}{\dfrac{r_{sc}}{k_r(s=1)} - r_1} E'_q, \qquad (23)$$

$$V_0 = r_1 \cdot I_{q0} - \left(x_1 + \frac{x'_2(s=s_0) \cdot x_m}{x'_2(s=s_0) + x_m} \right) I_{d0} + E'_q, \qquad (24)$$

$$= r_1 \cdot I_{d0} + \left(x_1 + \frac{x'_2(s=s_0) \cdot x_m}{x'_2(s=s_0) + x_m} \right) \cdot I_{q0} + E'_d. \qquad (25)$$

Ecuațiile (2), (17), (22), (23), (24) și (25) rmează un sistem de șase ecuații neliniare, cu ecunoscutele :

$$r_1,\ x_m,\ x_1,\ x'_2(s = s_0),\ E'_q,\ E'_d.$$

Dacă se notează simbolic $f(x) = c$ în sistemul nterior de șase ecuații nelniare, prin aplicarea etodei Newton se obține următorul sistem niar, care se rezolvă iterativ, pînă la obținerea oluției ;

$$\left(\frac{\partial f}{\partial x} \right)_{x=x_h} \cdot \Delta x_{h+1} = c - f(x_h),$$

1

$$x_{h+1} = x_h + \Delta x_{h+1} \text{ și } h = 0, 1, 2 \ldots$$

În cadrul metodei Newton este important á se estimeze o soluție inițială care să conducă a o convergență rapidă. În acest scop variabilele s-au inițializat cu următoarele valori :

- $r_1 = \dfrac{r_{sc}}{2}$, considerînd $r_1 \cong r'_2(s = 1)$;
- $x_m = \sqrt{x[x - x'(s=1)]}$,

u

$$x_1 \cong x'_2(s=1) \text{ și } x'(s=1) = \sqrt{[Z'(s=1)]^2 - r_1^2} =$$

$$= \text{const.}$$

$Z'(s = 1) = \dfrac{V_n}{I_p}$, V_n fiind tensiunea nominală, ar I_p curentul de pornire ;

$x = \dfrac{V_n}{I_0}$, I_0 fiind curentul de mers în gol.

- $x_1 = x - x_m$,
- $x'_2(s = s_0) = \dfrac{x_1}{k_x(s=1)}$, cu $x_1 \cong x'_2(s=1)$
- $E'_q \cong V_0 - r_1 \cdot I_{q0} + x'(s = 1)\, I_{d0}$,
- $E'_d = -r_1 \cdot I_{d0} - x'(s = 1) \cdot I_{q0}$.

Algoritmul de calcul prezentat constituie partea principală a programului de calcul CORIXER, care determină parametrii schemei echivalente și regimul permanent inițial de funcționare ale motorului asincron. Pentru determinarea variației mărimilor caracteristice funcționării motorului în funcție de alunecare este utilizat programul de calcul ALMACOR, care permite verificarea caracteristicilor furnizate de fabricant.

4. Rezultate comparative

În cazurile în care s-a dispus de date experimentale, s-au comparat rezultatele obținute prin calcul cu cele experimentale.

În cadrul lucrării [4] s-au calculat diferite regimuri tranzitorii ale motoarelor de servicii proprii din CTE Turceni și s-au comparat cu o serie de valori experimentale înregistrate la probele efectuate de ICEMENERG. Astfel, din calcule a rezultat că în cazul întreruperii alimentării de la borne a barelor de servicii proprii (cu toate motoarele conectate pe bare) și a realimentării prin AAR cu o pauză de 1 s, repornirea motoarelor s-a realizat în aproximativ 1 s. În cazuri similare de AAR realizate experimental de ICEMENERG la CTE Turceni și CTE Rovinari, cu pauza de AAR de 0,94 s, timpul de repornire a motoarelor a fost de 0,8 – 1,2 s, în condițiile unui grad mai mic de încărcare a grupului față de cel considerat în calcule. În cazul AAR cu pauza de 2 s, tensiunea minimă de restabilire determinată prin calcule a fost de 62% U_n față de 64% U_n determinată experimental.

Alte comparații sînt prezentate în lucrarea [5], în care s-a dispus de date exacte, determinate pe standul de probe pentru un motor de 6341 kW, 10 kV, fabricat de firma Canadian General Electric (CGE). Acest motor face parte dintr-o serie de 9 motoare livrate CNE Cernavodă, utilizate pentru antrenarea pompelor principale de circulație (PPC), care asigură evacuarea căldurii din reactoare, prin circulația de apă grea. S-au comparat diagramele de variație a mărimilor caracteristice în timpul pornirii determinate de ISPE prin calcul, cu cele transmise de CGE, rezultatele fiind foarte apropiate (diferențe de maximum 3%, vezi figura 3).

De asemenea, s-au făcut comparații între rezultatele de calcul obținute de ISPE cu cele obținute de Ansaldo Impianti (AI), calcule efectuate în mod independent pentru același motor (tabelul 1).

Tabelul 1

	Căderea de tensiune, în % U_n, pe barele de 10 kV în timpul pornirii	
Tensiunea pe bare anterior pornirii (%)	95	90
ISPE	21	25
Ansaldo Impianti	20,9	25,4
Diferența (% U_n)	0,1	0,4

Tabelul 2

	Căderea de tensiune, în % U_n	
	pe barele de 6 kV	pe barele de 10 kV
ISPE	20	9,8—10
Ansaldo Impianti	16,1	9,3
Diferența (% U_n)	3,9	0,5—0,7

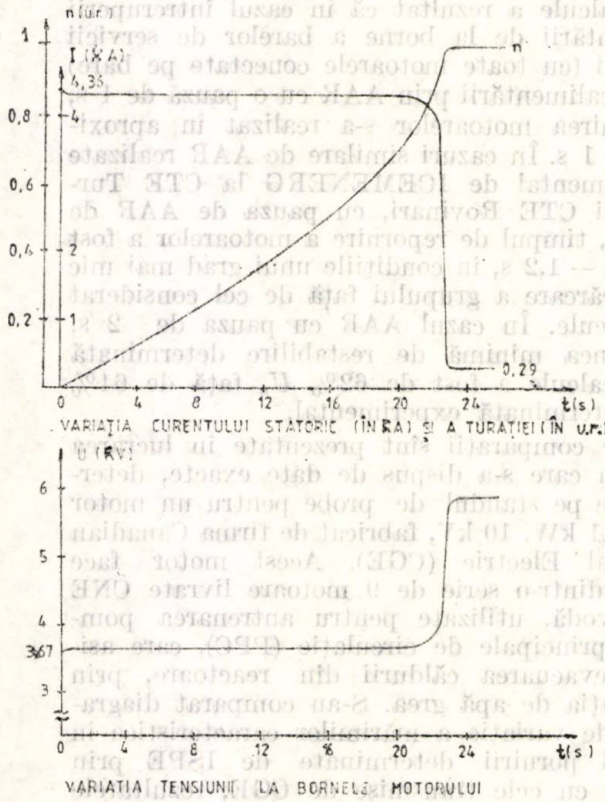


Fig. 4. Pornirea unui motor de 8 MW pe un stand de probe.

În tabelul 2 s-au comparat căderile de tensiune pe bare determinate de ISPE și Ansaldo Impianti pentru un AAR rapid, cu pauza de 65 ms.

5. Exemple de aplicații ale programului REDINA la calculul regimurilor tranzitorii ale motoarelor asincrone

Aceste calcule se fac în acele situații în care este necesar să se cunoască variația, în timpul regimurilor tranzitorii, a unor mărimi electrice și mecanice caracteristice :

— curentul electric absorbit de motor;
— tensiunea la bornele motorului;
— alunecarea, respectiv viteza motorului;
— puterea reactivă absorbită de motor etc.

Prin analiza diagramelor în care este reprezentată variația în timp a acestor mărimi, se rezolvă următoarele genuri de probleme :

5.1. Determinarea timpului de pornire a motorului și a variației curentului absorbit de

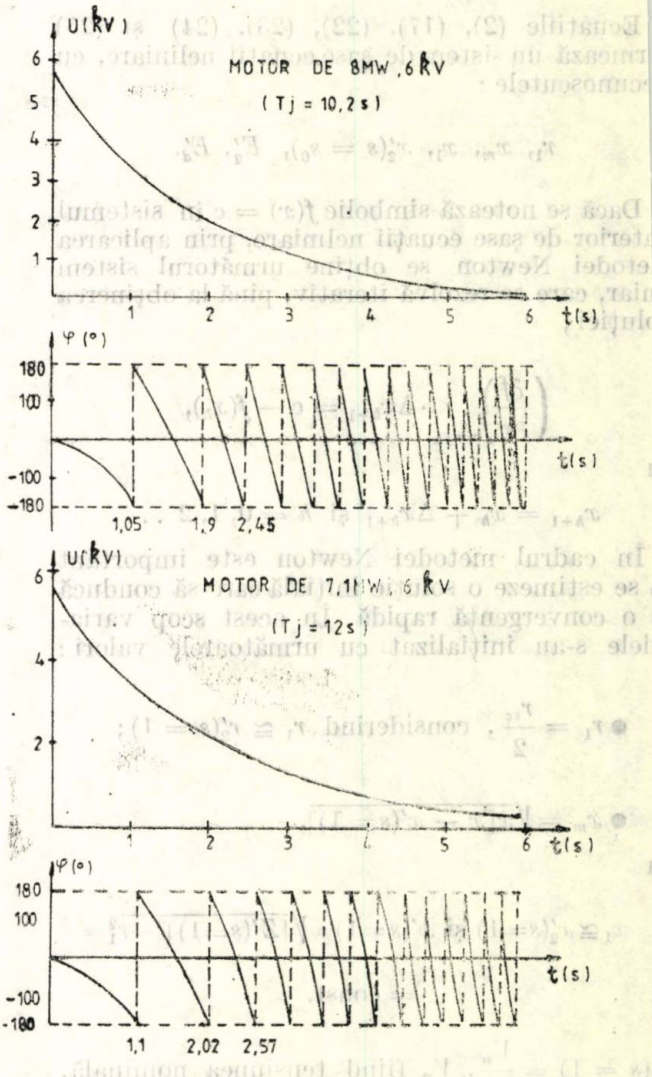


Fig. 5. Variația tensiunii remanente, în modul și argument, la bornele motorului după deconectarea alimentării.

acesta, în vederea alegerii reglajului protecţiilor prin relee aferente (fig. 4).

5.2. Variaţia tensiunii remanente la bornele motorului (fig. 5 şi 6) sau de pe o bară la care sînt conectate mai multe motoare şi căreia i s-a întrerupt alimentarea. Aceste informaţii sînt utile pentru alegerea corespunzătoare a pauzei de AAR, astfel încît să se evite conectarea sursei de rezervă avînd tensiunea în opoziţie de fază cu tensiunea remanentă a barelor, situaţie în care motoarele pot fi supuse la solicitări inadmisibile, care le pot avaria.

5.3. Verificarea capacităţii de autopornire a unui grup de motoare, după deconectarea alimentării principale şi conectarea celei de rezervă, funcţie de pauza de AAR, sau de puterea sursei de rezervă. Prin aceasta se verifică diversele măsuri de automatizare propuse pentru asigurarea continuităţii în alimentarea serviciilor interne ale centralelor electrice.

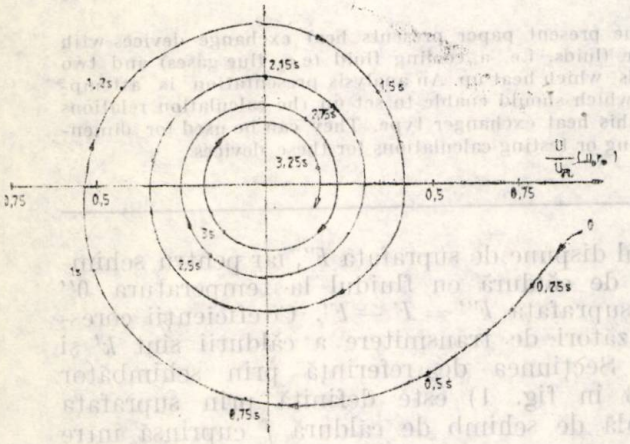


Fig. 6. Reprezentarea fazorială a tensiunii remanente la bornele unui motor de 7,1 MW, 6 kV, după deconectarea alimentării.

Bibliografie

[1] Ionescu, S., Ungureanu, B. *Studiul regimurilor dinamice ale motoarelor asincrone.* In : Energetica, 17, 1969, nr. 10, p. 473—478.

[2] Siromiatnicov, I. A. *Regimurile de funcţionare ale motoarelor asincrone.* Editura Tehnică, 1952.

[3] Dimo, P. şi alţii *Calculul şi proiectarea sistemelor electroenergetice*, capitolul 11. Editura Tehnică, 1971.

[4] * * * *CTE Turceni 4 × 440 MW, etapa I, şi 4 × × 330 MW, etapa a II-a. Verificarea condiţiilor de pornire şi autopornire a motoarelor electrice de 6 kV servicii proprii de bloc.* Studiu ISPE, aprilie 1983.

[5] * * * *Verificarea regimurilor tranzitorii ale motoarelor SI ale CNE Cernavodă în vederea acceptării modificărilor caracteristicilor motoarelor PHT, fabricaţie CGE.* Studiu ISPE, mai 1986.

[6] * * * *Stand de probe pentru pompe nucleare. Alimentarea cu energie electrică la tensiunile de 6 şi 10 kV. Calculul regimurilor tranzitorii de pornire a motoarelor pompelor nucleare şi stabilire reglaje.* Studiu ISPE, ianuarie 1984.

(Primit la 14 iulie 1988, acceptat la 22 septembrie 1988)

Calculul aparatelor de schimb de căldură cu trei fluide

Dr. ing. GEORGE CHERCEA *

Descriptori : schimbătoare de căldură

CZ : 621.311.22/23 : 621.3.046.2

Articolul de față prezintă aparate schimbătoare de căldură care folosesc trei fluide, și anume : un fluid care se răcește (de exemplu gazele de ardere) și două fluide care se încălzesc. Se încearcă o prezentare a unei analize care să permită stabilirea relațiilor de calcul aferente acestui tip de schimbător, cu ajutorul cărora se fac calcule de dimensionare sau verificare a acesor aparate.

The present paper presents heat exchange devices wtih three fluids, i.e. a cooling fluid (e.g. flue gases) and two fluids which heat up. An analysis presentation is attempted which should enable to set up the calculation relations for this heat exchanger type. They can be used for dimensioning or testing calculations for these devices.

Aparatele de schimb de căldură cu trei fluide sînt, în prezent, relativ rar întîlnite în practică. În trecut, erau folosite la locomotivele cu abur, unde fluidul cald (gazele de ardere) ceda căldură, pe de o parte, apei din cazan și, pe de altă parte, aburului care se supraîncălzea. În prezent, această soluție de schimbător de căldură este patentată de firma Sulzer (Elveția) sub numele de „Triflux" și este folosită în sistemul de reglare a temperaturii aburului supraîncălzit intermediar la cazanele de abur. Informațiile privind calculul acestor aparate sînt relativ sărace ; astfel :

— în [1] se prezintă o procedură de calcul prin aproximări succesive, iar

— Brandt [2] prezintă o tratare analitică, dar nefinalizată.

În articolul de față se încearcă prezentarea unei analize care să permită stabilirea relațiilor de calcul aferente acestui tip de schimbător de căldură. Prezentarea pornește de la o schiță de soluție propusă de Hausen [3], dar ale cărei condiții inițiale au fost modificate, după cum urmează.

Se consideră ca avînd valoare constantă în lungul schimbătorului :

— echivalenții în apă ai celor trei fluide ;

— coeficienții de transmitere a căldurii ;

— suprafețele de schimb de căldură raportate la unitatea de lungime de schimbător.

Simplificat, procesul din schimbător este prezentat în figura 1.

Deci gazul cu temperatura θ se răcește, iar celelalte două fluide, avînd temperaturile θ' și θ'' se încălzesc, circulînd în sens opus gazului. Echivalenții în apă sînt w, w' și w'' ($w = \dot{m}c$). Suprafața totală de schimb de căldură a schimbătorului fiind F, pentru schimbul de căldură cu fluidul la temperatura θ' schimbătorul dispune de suprafața F', iar pentru schimbul de căldură cu fluidul la temperatura θ'' de suprafața $F'' = F - F'$. Coeficienții corespunzători de transmitere a căldurii sînt k' și k''. Secțiunea de referință prin schimbător (AB în fig. 1) este definită prin suprafața totală de schimb de căldură f cuprinsă înire

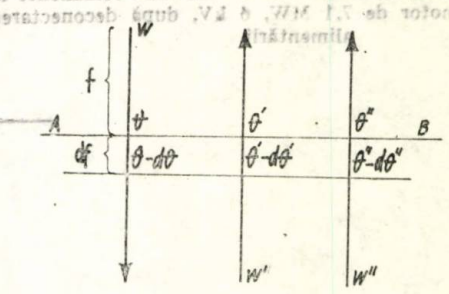


Fig. 1

intrarea în schimbător a gazului cald și secțiunea respectivă.

Într-o porțiune infinit mică de schimbător, caracterizată de suprafața df, se vor înregistra variațiile de temperatură $d\theta$, $d\theta'$ și $d\theta''$ negative, df fiind pozitiv. Deci, în unitatea de timp se va transmite cantitatea de căldură :

$$dq = -wd\theta = -(w'\,d\theta' + w''\,d\theta''). \qquad (1)$$

Pentru cele două fluide încălzite relația (1) devine :

$$dq' = -\,w'\,d\theta' = k'\frac{F'}{F}df\,(\theta - \theta'), \qquad (2)$$

$$dq'' = -w''\,d\theta'' = k''\frac{F''}{F}df\,(\theta - \theta''). \qquad (3)$$

* Dr. ing. George Chercea — Institutul de Cercetări și Modernizări Energetice, București

Pentru descrierea evoluției temperaturilor θ, θ' și θ'' în funcție de f, pot fi scrise trei diferențiale :

$$w\frac{d\theta}{df} = w'\frac{d\theta'}{df} + w''\frac{d\theta''}{df}, \tag{4}$$

$$\frac{d\theta'}{df} = -C'(\theta - \theta'), \tag{5}$$

$$\beta = 1/2\left[\left(1-\frac{w'}{w}\right)C' + \left(1-\frac{w''}{w}\right)C''\right] + \sqrt{\left(\frac{w'+w''}{w}-1\right)C'C'' + 1/4\left[\left(1-\frac{w'}{w}\right)C' + \left(1-\frac{w''}{w}\right)C''\right]^2}$$

$$\gamma = 1/2\left[\left(1-\frac{w'}{w}\right)C' - \left(1-\frac{w''}{w}\right)C''\right] - \sqrt{\left(\frac{w'+w''}{w}-1\right)C'C'' + 1/4\left[\left(1-\frac{w'}{w}\right)C' + \left(1-\frac{w''}{w}\right)C''\right]^2} \tag{13}$$

$$\frac{d\theta''}{df} = -C''(\theta - \theta''), \tag{6}$$

unde s-au introdus notațiile :

$$\frac{k'F'}{w'F} = C' \text{ și } \frac{k''F''}{w''F} = C''. \tag{7}$$

Aceste ecuații diferențiale admit soluții de forma [4] :

$$\begin{aligned}\theta &= A + B\exp(\beta f) + D\exp(\gamma f),\\ \theta' &= A + B'\exp(\beta f) + D'\exp(\gamma f),\\ \theta'' &= A + B''\exp(\beta f) + D''\exp(\gamma f).\end{aligned} \tag{8}$$

Introducînd aceste soluții în ecuațiile (4), (5) și (6) și avînd în vedere că pentru ambele fețe coeficienții funcțiilor $e^{\beta f}$ și $e^{\gamma f}$ trebuie să fie egali, se obțin următoarele relații între constante :

$$\begin{aligned}wB &= w'B' + w''B'',\\ B'\beta &= -C'(B - B'),\\ B''\beta &= -C''(B - B''),\\ wD &= w'D' + w''D'',\\ D'\gamma &= -C'(D - D'),\\ D''\gamma &= -C''(D - D'').\end{aligned} \tag{9}$$

Din aceste relații se obține mai departe :

$$B' = \frac{C'}{C' - \beta}B, \tag{10}$$

$$B'' = \frac{C''}{C'' - \beta}B,$$

care introduse în relațiile (9) dau :

$$\beta^2 - \left[\left(1-\frac{w'}{w}\right)C' + \left(1-\frac{w''}{w}\right)C''\right]\beta = \left(\frac{w'+w''}{w}-1\right)C'C''. \tag{11}$$

Relații similare se obțin și pentru γ, deci β și γ vor fi cele două rădăcini ale ecuației (11), obținîndu-se :

Ținînd cont de relațiile (10), soluțiile ecuațiilor diferențiale capătă forma :

$$\theta = A + B\exp(\beta f) + D\exp(\gamma f) \tag{14}$$

$$\theta' = A + \frac{C'}{C' - \beta}B\exp(\beta f) + \frac{C'}{C' - \gamma}D\exp(\gamma f) \tag{15}$$

$$\theta'' = A + \frac{C''}{C'' - \beta}B\exp(\beta f) + \frac{C''}{C'' - \gamma}D\exp(\gamma f) \tag{16}$$

În aceste relații rămîn a fi determinate constantele A, B și D. Acestea se stabilesc din condițiile la limită, de exemplu din valorile temperaturilor celor trei fluide la capătul schimbătorului sau din valorile temperaturilor celor trei fluide la intrarea în schimbătorul de căldură.

Astfel, pentru $f = 0$ temperatura de intrare este $\theta = \theta_1$, iar temperaturile de ieșire sînt $\theta' = \theta_2'$ și $\theta'' = \theta_2''$, cunoscute din temă. Introducînd în relațiile (14), (15) și (16) $f = 0$ se obține :

$$B = \frac{(\gamma - C')(\theta_1 - \theta_2') - (\gamma - C'')(\theta_1 - \theta_2')}{\beta\left(\frac{\gamma - C'}{\beta - C'} - \frac{\gamma - C''}{\beta - C''}\right)}, \tag{17}$$

$$D = \frac{(\beta - C')(\theta_1 - \theta_2') - (\beta - C'')(\theta_1 - \theta_2'')}{\gamma\left(\frac{\beta - C'}{\gamma - C'} - \frac{\beta - C''}{\gamma - C''}\right)} \tag{18}$$

Dacă temperaturile de intrare ale celor trei fluide sînt impuse, deci θ_1 pentru $f = 0$, respectiv θ_1' și θ_1'' pentru $f = F$, se obține:

$$B = \frac{\frac{\gamma - C'}{\gamma - C'[1 - \exp(\gamma F)]}(\theta_1 - \theta_1') - \frac{\gamma - C''}{\gamma - C''[1 - \exp(\gamma F)]}(\theta_1 - \theta_1'')}{\frac{\gamma - C'}{\beta - C'}\frac{\beta - C'[1 - \exp(\beta F)]}{\gamma - C'[1 - \exp(\gamma F)]} - \frac{\gamma - C''}{\beta - C''}\frac{\beta - C''[1 - \exp(\beta F)]}{\gamma - C''[1 - \exp(\gamma F)]}} \tag{19}$$

$$D = \frac{\frac{\beta - C'}{\beta - C'[1 - \exp(\beta F)]}(\theta_1 - \theta_1') - \frac{\beta - C''}{\beta - C''[1 - \exp(\beta F)]}(\theta_1 - \theta_1'')}{\frac{\beta - C'}{\gamma - C'}\frac{\gamma - C'[1 - \exp(\gamma F)]}{\beta - C'[1 - \exp(\beta F)]} - \frac{\beta - C''}{\gamma - C''}\frac{\gamma - C''[1 - \exp(\gamma F)]}{\beta - C''[1 - \exp(\beta F)]}} \tag{20}$$

Pentru A, în ambele cazuri, rezultă din relația (14), introducînd $f = 0$:

$$A = \theta_1 - (B + D). \tag{21}$$

Avînd la dispoziție relațiile pentru mărimile A, B și D se poate trece la calculul evoluției temperaturii celor trei fluide cu relațiile (14), (15) și (16), cu considerarea relațiilor (7), (12) și (13). Odată determinate toate aceste elemente, problema analizei aparatului de schimb de căldură cu trei fluide este rezolvată, putîndu-se trece la calculele de dimensionare sau verificare.

Bibliografie

[1] * * * — *Chaudières.* Techniques de l'ingenieur, Paris, 1984.

[2] Brandt, F. *Wärmeübertragung in Dampferzeuger und Warmeaustauschern.* Vulkan — Verlag, Essen, 1985.

[3] Hausen, H. *Warmeübertragung im Gegenstrom, Gleichstrom und Kreuzetrom — 2. Auflage.* Springer-Verlag, Berlin, 1976

[4] Zurmühl, R. *Praktische Mathematik für Ingenieure und Physiker — 3. Auflage.* Springer-Verlag, Berlin, 1961.

(Primit la 2 iulie 1988, acceptat la 3 octombrie 1988)

NOTĂ

1. O problemă asemănătoare se pune la calculul tuburilor Field, pentru care există și tratarea analitică (HURD) și metode iterative și grafoanalitice care s-ar putea compara cu soluția propusă.

2. Ecuațiile stabilite dau profilul de temperatură, care în cazul calculului de proiectare nu este esențial, putîndu-se lucra cu valori medii.

Este interesantă aplicarea metodei de integrare a ecuațiilor diferențiale în cazul calculului de verificare, cînd se cunoaște suprafața și se dorește determinarea unor temperaturi, sau cînd variază debitul.

3. Este interesant să se treacă mai departe la stabilirea algoritmilor completi de calcul termic de proiectare și verificare.

Grupa de specialitate „Centrale termoelectrice"

Modelarea numerică cu elemente finite a cîmpurilor de tensiuni termice și mecanice axial-simetrice

Ing. BOGDAN POPESCU-VIFOR*

Descriptori : modelare, elemente finite, tensiuni termice, tensiuni mecanice

C.Z : 537.212

Lucrarea își propune să prezinte principalele etape ale modelării numerice cu elemente finite a cîmpurilor de tensiuni termice și mecanice axial-simetrice. Pornind de la relațiile din teoria elasticității, se trece mai întîi la o formulare integrală a problemei folosind metoda variațională corelată cu aplicarea principiului energiei potențiale minime. Punînd condiția de minimizare a energiei potențiale, rezultă modelul numeric al cîmpului de tensiuni. Acest model este particularizat în continuare pentru geometrii și solicitări axial-simetrice și elemente finite caracteristice toroidale. Se obține astfel modelul numeric global care se implementează pe calculator.

Implementarea s-a făcut sub forma programului de calcul AXIT conceput de autor, cu elemente finite izoparametrice generalizate. Aceste elemente permit, după opțiunea utilizatorului, folosirea unor funcții de aproximare combinate, liniare și pătratice.

Sînt prezentate o serie de aplicații numerice care scot în evidență posibilitatea programului de a furniza rezultate corecte unor probleme greu sau chiar imposibil de rezolvat analitic. Pentru claritatea expunerii s-au folosit domenii de analiză simple cu un număr relativ mic de elemente finite.

Se scoate în evidență utilitatea programului AXIT în cercetarea și proiectarea echipamentelor termomecanice din centralele electrice clasice și nucleare.

The purpose of this paper is to present the principal steps of the axisymmetric thermal and mechanical stresses finite element modelling.

Starting from the elasticity formulae, an integral formulation of the problem is developed using the variational method correlated to the minimum potential energy principle. Stating that the potential energy derivatives according to displacements are zero, we obtain the numerical model of the stress field. This model is reduced then to axisymmetric geometries and loads using annular finite elements. This is implemented by the computer program AXIT developed by the authors with generalized isoparametric finite elements.

A set of numerical tests are then analysed, to emphasize the capability of the AXIT program in solving with maximum accuracy complex problems which arise frequently in the CAD activity of the thermomechanical equipment of classical and nuclear power plants, as well as other industrial fields.

Finite Element Modelling of Axisymmetric Thermal and Mechanical Stresses

(Condensed from the paper in Romanian)

The purpose of this paper is to present the theoretical basis for the calculus of thermal and mechanical stresses inside a given body. Starting from it, the problem is restricted to axisymmetric geometries and loads. Then a computer numerical model using the finite element method is developed. This method permits us to obtain results for very complex problems, to whom an analytical solution is quite inexistent. The AXIT computer code is then presented together with some of its results.

Let us consider an homogeneous and isotropic body whose volume and surface are V and S. External loads can affect this body, either on its surface (e.g. pressure and concentrated forces) or dispersed into its volume (e.g. gravitational forces). These loads induce inside the body a stress field that should be determined.

The local analytical model of this stress field is characterized by the strain-displacement formulae (1) from the theory of elasticity and the general Hooke's law (2). To obtain a global model of the stress field, including also the external load effects explicitly, the relation (2) must be integrated all over the body using as a variational principle the minimum potential energy principle.

We obtain the relation (5) with $\{\varepsilon\}$ as the strain vector, $\{\varepsilon_0\}$ as the initial strain vector produced by the thermal field, $[D]$ as the elasticity matrix, $[U]$ as the displacement vector, $[f]$ as the volumetric load component vector, $\{p\}$ as the superficial load component vector and $\{F_i\}$ as the „i"-th concentrated force component vector.

By equalling with zero the derivative of the relation (5) with respect to the displacements, an equation system is obtained whose solution characterizes the equilibrium state of the body.

* Ing. Bogdan Popescu-Vifor — Institutul de Cercetări și Modernizări Energetice, București.

According to the finite element theory, the body will be thought of as if it were be made of a set of finite elements defined by their shape and number of nodes.

The potential energy formula (5) may be rewritten as the sum of the potential energy of each singular element (9) and, by equaling its derivative with respect to the nodal displacements with zero, an algebraic equation system is obtained, whose unknowns are these nodal displacements. The system is then solved and the stresses are determined by using the formulae (1) and (2) and the Dirichlet limits.

For axisymmetric stress field, thoroidal finite elements are used (Figure 1). In Figure 2 the components of the stress tensor are represented in cylindrical co-ordinates for axisymmetric conditions, emphasizing the radial stress σ_r, the axial stress σ_z, the hoop stress σ_θ and shear stress τ_{rz}. The matrices involved in (10) are developed in (11) with r as the current point ray and the other items being derived in the subsequent relations (12, 13). Hence, the problem is treated in a two-dimensional mode.

This numerical model is then implemented by the computer code AXIT with 3 to 8 nodes generalized isoparametric finite elements (triangles and quadrilaterals). The Dirichlet limit conditions consist of blocking some nodes along either one or two directions (radial and axial).

The program can take into account the gravity along the z-axis, the centrifugal force when the body is turning around the z-axis and the pressure acting on the surfaces.

Figure 3 presents a sheet of cylinder with three different meshes. The inner temperature is 1000°C and the outer one is 0°C. The thermal dilatation of the body is illustrated in Figure 4 and the next two Figures 5 and 6 present the stress mapings determined in the centers of the finite elements. The results given by AXIT are coincident with the analytical ones and with those published in reference [8] for the same problem.

Figure 7 presents a circular rib rigidly fixed at the inner surface. On this rib a pressure is acting upwards. The displacements and stresses are illustrated in Figures 8 and 9.

The AXIT code proves itself to be useful in the CAD activity for the mechanical and thermomechanical equipment. The examples mentioned in this paper emphasize the program's capability in solving the probems for a series of simple geometries to whom analytical results are given in the references. The great advantage of such a program consist but in the possibility of determining the stresses inside complicated bodies with sophisticated loads when analytical formulae are inexistent. Such situations occur frequently in classical and nuclear power plants.

Introducere

Articolul de față își propune să prezinte baza teoretică a calculului tensiunilor termice și mecanice în interiorul diferitelor corpuri. Pornind de la aceasta se face particularizarea pentru geometrii și solicitări axial-simetrice, trecîndu-se apoi la modelarea numerică pe calculator prin metoda elementelor finite. Aceasta este o metodă de aproximare prin discretizare, care permite obținerea de rezultate pentru probleme ale căror soluții nu pot fi întotdeauna calculate prin metode analitice [6]. Această situație apare frecvent în activitatea de proiectare.

Utilizarea pe scară largă a modelării numerice cu elemente finite rezultă și din numărul tot mai mare de referințe bibliografice care apar de la an la an în lumea întreagă. Astfel, în [9] este prezentat un program complex de calcul al comportării elementelor combustibile din reactoarele PHWR tip CANDU în situația unui accident LOCA. Programul cuprinde și o parte de modelare cu elemente finite a cîmpului de eforturi în interiorul pastilelor de combustibil și al tecii. De asemenea, în [5] se face o analiză cu elemente finite axial-simetrice a corpului unei vane de înaltă presiune SIGMA.

Că o concretizare a considerențelor teoretice schițate în articol, va fi prezentat programul de calcul AXIT, elaborat de autor, pentru determinarea cîmpurilor de eforturi axial-simetrice, împreună cu o serie de rezultate obținute cu acesta.

1. Formularea analitică a problemei

Se consideră un corp omogen și izotrop de volum V și suprafață S. Asupra acestui corp pot acționa sarcini exterioare, fie la suprafață, sub forma presiunilor și a forțelor concentrate, fie dispersate în interior, cum ar fi de exemplu greutatea sau forța centrifugă de inerție. Aceste sarcini exterioare conduc la apariția unor eforturi în interiorul corpului. Starea de eforturi într-un punct din corp este caracterizată formal de tensorul tensiunilor, ale cărui elemente vor fi considerate ca fiind componentele vectorului coloană $\{\sigma\}$, orientate după direcțiile și planele sistemului de coordonate considerat [7].

Problema constă în a determina variația acestor eforturi în interiorul corpului, cunoscînd solicitările inițiale și exterioare, precum și condițiile la limită.

Starea de deformații în punctul respectiv este caracterizată în mod analog de tensorul deformațiilor, care va fi exprimat tot sub forma unui vector coloană $\{\varepsilon\}$. De asemenea, punctul considerat se caracterizează și prin deplasările sale după axele sistemului de coordonate utilizat, (u, v, w). Teoria elasticității furnizează, pentru anumite ipoteze, relații între deformații și deplasări, relații ce pot fi scrise sub forma [4]:

$$\{\varepsilon\} = f(u, v, w), \qquad (1)$$

unde f este o funcție vectorială. Pe de altă parte, între eforturi și deformații există, în regim elastic, următoarea relație dată de legea lui Hooke generalizată [7]:

$$\{\sigma\} = [D](\{\varepsilon\} - \{\varepsilon_0\}), \qquad (2)$$

în care:

$\{\varepsilon_0\}$ este vectorul deformațiilor inițiale datorate de obicei cîmpului termic din interiorul corpului;

$[D]$ matricea de elasticitate care depinde de modulul lui Young, E, și de coeficientul lui Poisson, ν, (relația (13)).

Deformațiile inițiale se calculează după relația clasică

$$\varepsilon_0 = E\alpha T \qquad (3)$$

și se desfășoară numai pe direcțiile axelor. În relația (3) α este coeficientul de dilatare, iar T este creșterea relativă de temperatură.

Relația (2) exprimă eforturile în orice punct din interiorul corpului considerat în funcție de deformații, sau, în virtutea relației (1), în funcție de deplasări. Din păcate, această relație nu evidențiază efectul forțelor exterioare care acționează asupra corpului și, de asemenea, oferă informații în legătură doar cu un singur punct din corpul considerat și nu cu acesta luat în ansamblu. Pentru a modela cîmpul de eforturi din întreg corpul, ecuația (2) trebuie pusă într-o formă integrală, utilizînd o formulare variațională. Pentru aceasta se va utiliza ca principiu variațional principiul energiei potențiale minime. Energia potențială a corpului considerat se definește ca fiind [7, 8]:

$$\pi_p = \pi - W_p, \tag{4}$$

în care;

π este energia de deformație;

W_p — lucrul mecanic efectuat de forțele exterioare.

Principiul sus-amintit se enunță astfel [8]: *„Din toate stările de deformații în care se poate afla un corp și care satisfac condițiile de compatibilitate și condițiile la limită cinematice și de deplasări, starea care satisface ecuațiile de echilibru corespunde unei energii potențiale minime"*.

Rezultă că punînd condiția de minimizare a energiei potențiale care este funcție de deplasări (u, v, w) putem obține o serie de ecuații a căror soluție să fie în același timp și soluție a ecuațiilor de echilibru ale sistemului. Pentru o variație infinitezimală a deplasărilor, principiul de minim afirmă că:

$$\delta\pi_p = \delta\pi - \delta W_p = 0.$$

Utilizînd definiția energiei potențiale de deformație, relația (2) și considerînd efectele eforturilor inițiale și ale sarcinilor exterioare care efectuează lucru mecanic, se obține expresia energiei potențiale [4, 7]:

$$\pi_p = \frac{1}{2}\int_V \{\varepsilon\}^T [D]\{\varepsilon\}\,dV - \int_V \{\varepsilon\}^T [D]\{\varepsilon_0\}\,dV - \int_V \{U\}^T \{f\}\,dV - \int_S \{U\}^T \{p\}\,dS - \sum_i \{U\}_i^T \{F_i\}, \tag{5}$$

unde:

$\{U\}$ este vectorul deplasărilor după direcțiile sistemului de coordonate;

$\{f\}$ — vectorul componentelor sarcinii volumice distribuite;

$\{p\}$ — vectorul componentelor sarcinii superficiale distribuite;

$\{F_i\}$ — vectorul componentelor forței concentrate în punctul „i".

Egalînd cu zero derivata relației (5) în raport cu deplasările, se obține un sistem de ecuații a cărui soluție caracterizează starea de echilibru a corpului studiat. Această abordare a problemei poartă numele de metoda matricei de rigidizare sau a deplasărilor. Modelul analitic dat de ecuația (5) constituie acum baza de pornire pentru implementarea pe calculator a algoritmului de rezolvare a problemei.

2. Modelarea numerică cu elemente finite

Conform teoriei metodei elementului finit, se va considera corpul studiat ca fiind divizat într-un număr finit de subdomenii, numite elemente finite, care sînt caracterizate prin forma lor și numărul de noduri de pe laturi. Vectorul deplasărilor într-un punct al elementului poate fi exprimat astfel:

$$\{U\} = [N]\{Q^e\}, \tag{6}$$

unde:

$\{Q^e\}$ este vectorul deplasărilor nodale ale elementului finit „e";

$[N]$ — matricea funcțiilor de formă care depinde de tipul elementului și aproximează variația deplasărilor în interiorul acestuia.

Vectorul deformațiilor poate fi scris în funcție de deplasări ținînd cont de relațiile (1) și (6), astfel:

$$\{\varepsilon\} = [B]\{Q^e\}. \tag{7}$$

Pentru a obține sistemul de ecuații de echilibru trebuie avut în vedere faptul că energia potențială a întregului corp este egală cu suma energiilor potențiale corespunzătoare fiecărui element:

$$\pi_p = \sum_{e=1}^{E} \pi_p^e. \tag{8}$$

Introducînd (6) și (7) în (8), sumarea se face prin expandarea matricelor elementelor la dimensiunea matricelor corespunzătoare întregului corp, urmată de însumarea termenilor care se suprapun, [6]. Se obține astfel expresia energiei potențiale totale în funcție de vectorul $\{Q\}$ al tuturor deplasărilor nodale:

$$\pi_p = \frac{1}{2}\{Q\}^T \left(\sum_{e=1}^{E}\int_{Ve} [B]^T[D][B]\,dV\right)\{Q\} - \{Q\}^T \sum_{e=1}^{E}\left(\int_{Ve} [B]^T[D]\{\varepsilon_0\}\,dV +$$

$$+\int_{S^e}[N]^T\{p\}\,dS+\int_{V^e}[N]^T\{f\}\,dV\Big)-$$

$$-\{Q\}^T\{F_c\} \tag{9}$$

unde $\{F_c\}$ este vectorul extins al componentelor forţelor concentrate. Egalînd cu zero derivata relaţiei (9) în raport cu $\{Q\}$ se obţine un sistem de ecuaţii algebrice de tipul :

$$[K]\{Q\}=\{P\}. \tag{10}$$

Urmează rezolvarea sistemului şi calculul eforturilor cu relaţiile (2) şi (7), ţinînd cont de condiţiile la limită Dirichlet. Acestea din urmă se introduc sub forma unor deplasări impuse la unele noduri de pe suprafaţa corpurilor.

3. Cazul cîmpurilor de eforturi axial-simetrice

Se obţin cîmpuri de eforturi axial-simetrice în corpuri cu proprietăţi şi geometrii axial-simetrice supuse unor sarcini exterioare axial-simetrice [3]. Aceasta înseamnă că în relaţiile de mai sus se poate utiliza sistemul de coordonate cilindric $(r,\ \theta, z)$. Proprietatea de simetrie axială este echivalentă cu faptul că mărimile studiate nu depind de coordonata θ. Din punctul de vedere al modelării numerice acest lucru duce la o simplificare a problemei. Corpul studiat avînd geometrie axial-simetrică, se va utiliza o discretizare a sa în elemente finite toroidale cu axa identică cu axa de revoluţie a corpului (fig. 1). Aceste elemente vor fi caracterizate prin secţiunea lor transversală, secţiune cu o anumită formă şi un anumit număr de noduri pe laturi. Tot calculul se va face în continuare pe această secţiune determinată în planul (r, z), valorile eforturilor calculate în diferitele puncte ale secţiunii nefiind dependente de coordonata θ. În acest fel, problema iniţial tridimensională a fost redusă la o problemă bidimensională, care, pentru rezolvare, necesită o memorie şi un efort computaţional sensibil mai mici.

Matricele din relaţia (10) devin :

$$[K]=2\pi\sum_{e=1}^{E}\int_{S^e}r[B]^T[D][B]\,dS$$

$$\{P\}=2\pi\sum_{e=1}^{E}\Big(\int_{S^e}r[B]^T[D]\{\varepsilon_0\}\,dS+$$

$$+\int_{l^e}r[N]^T\{p\}\,dl+\int_{S^e}r[N]^T\{f\}\,dS\Big)+2\pi\sum_i r_i\{F_c\}_i \tag{11}$$

în care S^e şi l^e sînt aria secţiunii elementului finit „e" şi lungimea conturului pe care acţionează sarcinile distribuite superficial. În relaţiile (11) termenul corespunzător forţelor concentrate reflectă de fapt efectul unei forţe distribuite pe circumferinţa cercului cu centru pe axa de revoluţie a corpului şi care trece prin punctul i.

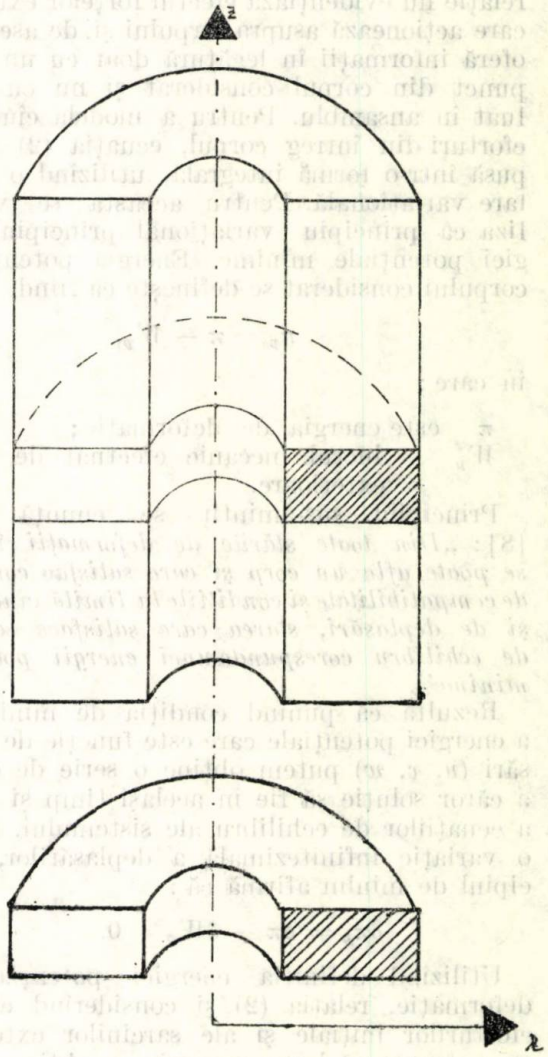


Fig. 1. Corp şi element finit axial-simetrice.

Cazul axial-simetric impune următoarele particularizări ale relaţiilor (1) şi (2). Vectorul deplasărilor devine

$$\{U\}=\begin{Bmatrix}u(r,z)\\ v(r,z)\end{Bmatrix}=[N]\ Q^e$$

unde u şi v sînt deplasările pe direcţiile r şi respectiv z. Elementele tensorului tensiunilor sînt prezentate în figura 2 şi în mod corespunzător se definesc şi deformaţiile :

$$\{\sigma\}^T=[\sigma_r\ \sigma_\theta\ \sigma_z\ \tau_{rz}],$$

în care:

σ_r este efortul radial;
σ_θ — efortul tangențial;
σ_z — efortul axial;
τ_{rz} efortul de forfecare în planul (r, z).

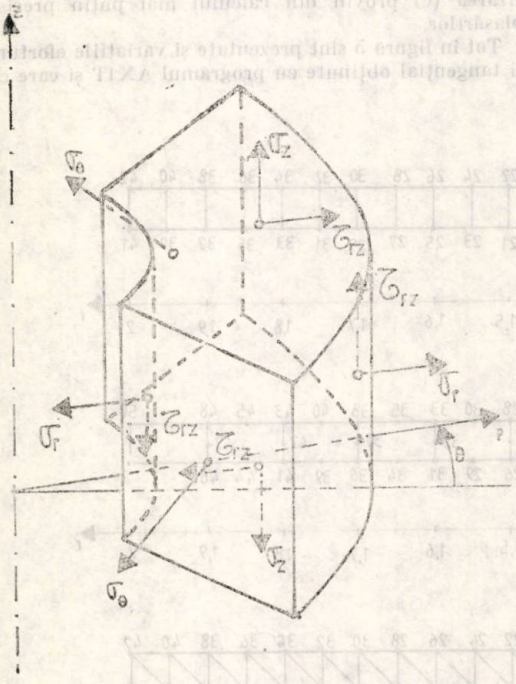


Fig. 2. Tensorul tensiunilor în sistem de coordonate cilindric pentru condiții axial-simetrice.

Relația (1), pentru deplasări mici în raport cu unitatea, capătă următoarea formă, [4]:

$$\{\varepsilon\} = \begin{Bmatrix} \varepsilon_r \\ \varepsilon_\theta \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{rz} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \dfrac{\partial u}{\partial r} \\ \dfrac{u}{r} \\ \dfrac{\partial v}{\partial z} \\ \dfrac{\partial u}{\partial z} + \dfrac{\partial v}{\partial r} \end{Bmatrix} = [B]\{Q^e\}. \quad (12)$$

Matricea de elasticitate $[D]$ devine:

$$[D] = \frac{E}{(1-\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & \nu & 0 \\ \nu & 1-\nu & \nu & 0 \\ \nu & \nu & 1-\nu & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dfrac{1-2\nu}{2} \end{bmatrix} \quad (13)$$

Un caz de real interes în studiul echipamentelor termomecanice îl constituie eforturile termice. Aceste eforturi, mai ales în regimurile tranzitorii pot să devină mai mari decît cele introduse de solicitările mecanice. În relațiile (11) efectul acestor solicitări este modelat de către termenul care îl conține pe $\{\varepsilon_0\}$ și, care în virtutea relației (3), devine:

$$\{P_t\} = 2\pi \sum_{e=1}^{E} \alpha^e T^e \int_{S^e} r[B]^T[D] \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{Bmatrix} dS,$$

unde T^e este temperatura calculată în centrul elementului minus valoarea temperaturii de referință. T^e se calculează în funcție de temperaturile nodale care constituie date de intrare.

4. APLICAȚII NUMERICE

Modelul numeric exprimat prin ecuația matriceală (10) a fost implementat pe calculator sub forma programului AXIT (AXIal Tensiuni). Acest program a fost scris de autorul prezentului articol în limbaj FORTRAN—IV și testat pe microcalculatoarele JUNIOR și CUB—Z pentru condiții maxime de dimensionare impuse de memoriile acestor echipamente. În această formă, programul AXIT poate prelucra rețele de discretizare cu 60 de noduri și 40 de elemente.

Programul AXIT utilizează elemente finite izoparametrice patrulatere cu de la 4 la 8 noduri, sau triunghiulare cu de la 3 la 6 noduri. AXIT prelucrează și discretizări neomogene din punctul de vedere al formei și tipului elementelor finite folosite. Programul acceptă condiții la limită Dirichlet sub forma blocării anumitor noduri după una sau ambele direcții, radială și axială. De asemenea, programul modelează influența gravitației după axa z, a forței centrifuge de inerție pentru corpuri în rotație în jurul axei z, precum și influența presiunii care acționează pe suprafețele corpului. AXIT modelează cîmpuri de eforturi staționare. Prin cuplare cu programul TERMAX, sau alt program echivalent care să furnizeze temperaturi nodale, programul AXIT poate modela și cîmpuri de tensiuni termice tranzitorii [3, 2].

AXIT prezintă opțiunea de citire a datelor de intrare din fișiere de pe dischetă, astfel:

a) coordonatele nodurilor, matricea de conexiuni și datele de material din fișierul FORTO 6. DAT;

b) temperaturile în noduri din fișierul FORTO 7. DAT.

Datele pot fi introduse în aceste fișiere, fie direct de la terminal, fie cu ajutorul unor programe preprocesoare.

AXIT afișează rezultatele pe display și, de asemenea, le scrie în fișierul FORTO 8. DAT.

Cu ajutorul AXIT au fost realizate următoarele teste:

TESTUL NR. 1

S-au calculat tensiunile termice în felia de cilindru prezentată în figura 3, utilizîndu-se trei tipuri de discretizări:

a) patrulatere cu 4 noduri;
b) patrulatere cu 8 noduri;
c) triunghiuri cu 3 noduri.

Problema este tratată în [8], utilizînd discretizarea (c.)

În cazul (a) s-au obținut 20 elemente și 42 noduri.

În cazul (b) rețeaua cuprinde 10 elemente și 50 noduri.

Se observă utilizarea în acest caz și a unui element patrulater cu 5 noduri.

În cazul (c) s-au obținut 40 elemente și 42 noduri.

Tensiunile sînt calculate în centrul elementului.

Pentru problema dată s-au impus condiții identice ca în [8], între altele, temperatura pe suprafața interioară de 1000° C, iar temperatura pe suprafața exterioară de 0°C.

Variația temperaturii cu raza s-a considerat după relația analitică pentru pereți cilindrici, [8]:

$$T(r) = -\frac{(T_{int} - T_{ext}) \ln r}{\ln(R_{ext}/R_{int})} + \frac{T_{int} \ln R_{ext} - T_{ext} \ln R_{int}}{\ln(R_{ext}/R_{int})}.$$

Analitic nu rezultă o variație axială a efortului radial, ceea ce denotă faptul că în cazul discretizării (c), în care centrele elementelor se află pe două niveluri distincte în raport cu axa z, ese convenabil să se facă medierea valorilor obținute pentru două elemente adiacente.

Valorile obținute în acest caz se înscriu pe curba obținută în situațiile (a) și (b), lucru remarcat și în [10]. În mod evident rezultatele întrucitva diferite obținute cu discretizarea (c) provin din calculul mai puțin precis al deplasărilor.

Tot în figura 5 sînt prezentate și variațiile eforturilor axial și tangențial obținute cu programul AXIT și care coincid cu

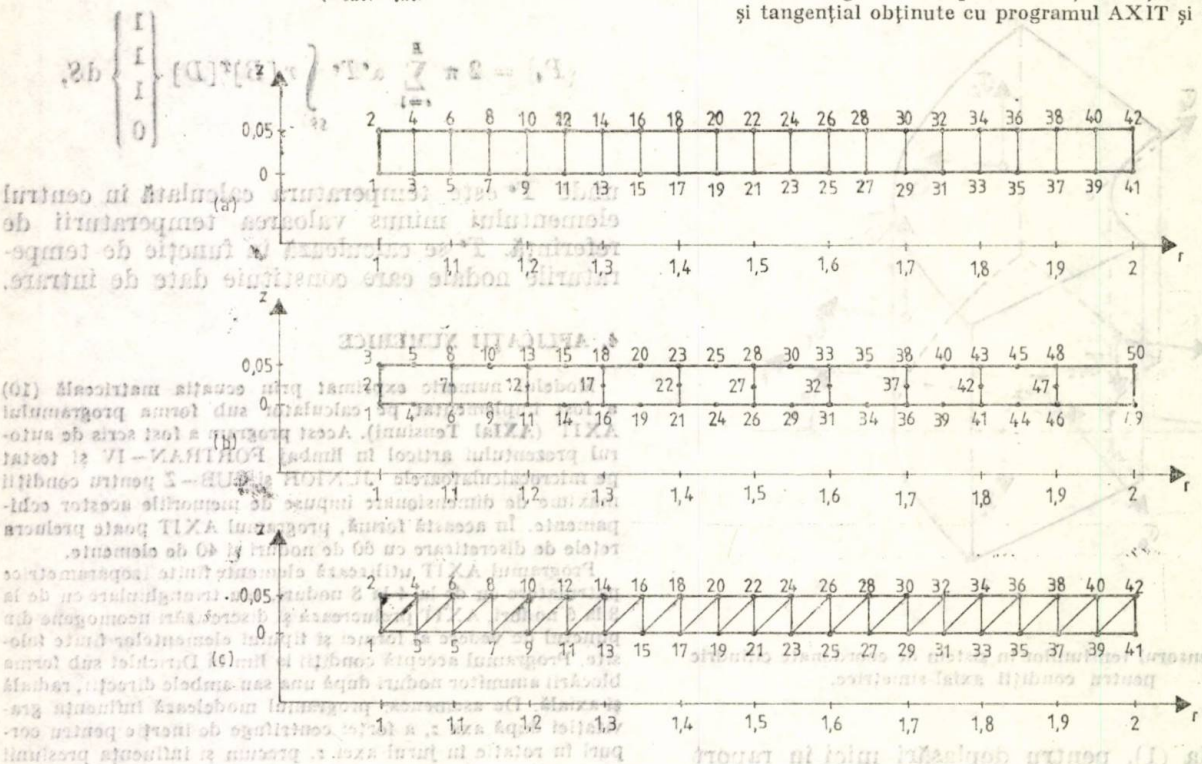


Fig. 3. Testul nr. 1. Exemple de discretizări.

S-a impus condiția de blocare pe direcție axială a tuturor nodurilor de pe suprafețele superioare și inferioare. Soluția analitică a acestui tip de problemă se găsește în [4] și este relativ incomod de aplicat.

Primul set de rezultate pe care îl furnizează programul AXIT cuprinde deplasările nodale. Se observă deplasarea axială nulă pentru nodurile blocate pe această direcție. În cazul (b) deplasarea axială a nodurilor de pe fibra medie este de ordinul 10^{-5}, deci practic nulă. Deplasarea materialului se face numai pe direcție radială. În cazurile (a) și (b) deplasările radiale ale nodurilor cu aceeași rază sînt practic egale, diferențe apărînd la zecimala a 4-a. În cazul (c), datorită neuniformității introduse de laturile oblice ale triunghiurilor, diferențele dintre deplasările radiale ale nodurilor cu raze egale apar la nivelul primei zecimale. Acest lucru denotă că în cazul de față, discretizarea cu elemente triunghiulare introduce erori, lucru care se va observa și mai clar în continuare. Reprezentarea corpului deformat este dată în figura 4.

Următorul set de rezultate îl constituie tensiunile propriuzise, calculate în centrul fiecărui element finit.

Trebuie menționat că rezultatele obținute cu discretizarea (c) coincid cu cele obținute în [8], fapt ce demonstrează corectitudinea în funcționare a programului AXIT.

În figura 5 este prezentată variația tensiunii radiale pentru cele trei discretizări. Se observă că primele două discretizări oferă rezultate practic identice, aflate pe o curbă care constituie totodată curba medie a suprafeței delimitată de eforturile obținute cu discretizarea (c)

cele din [8]. Din aceste grafice se observă că și discretizarea (c) oferă rezultate corecte, valorile obținute fiind situate pe curba rezultatelor din situațiile (a) și (b). Acest lucru se explică apelînd la relația (12).

În figura 6 sînt reprezentate grafic rezultatele obținute pentru efortul de forfecare τ_{rz}. Analitic, acest efort este zero. Totuși, rezultatele numerice obținute sînt diferite de zero și permit o analiză a preciziei obținute cu diferitele tipuri de elemente finite folosite.

Se observă astfel că patrulaterul cu 8 noduri furnizează rezultate pentru τ_{rz} în plaja $(-10^{-3} \div -10^{-3})$, valori practic neglijabile în raport cu mărimea celorlalte eforturi. Deviația față de zero este foarte mică.

Elementele de tip patrulater cu patru noduri au pentru τ_{rz} o deviație față de zero ceva mai mare: $(-10^{-2} \div 10^{-2})$. Deci precizia rezultatelor obținute cu acest tip de elemente este ceva mai mică decît în cazul precedent, dar totuși foarte bună.

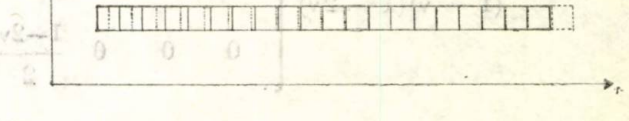


Fig. 4. Testul nr. 1. Reprezentarea deformațiilor.

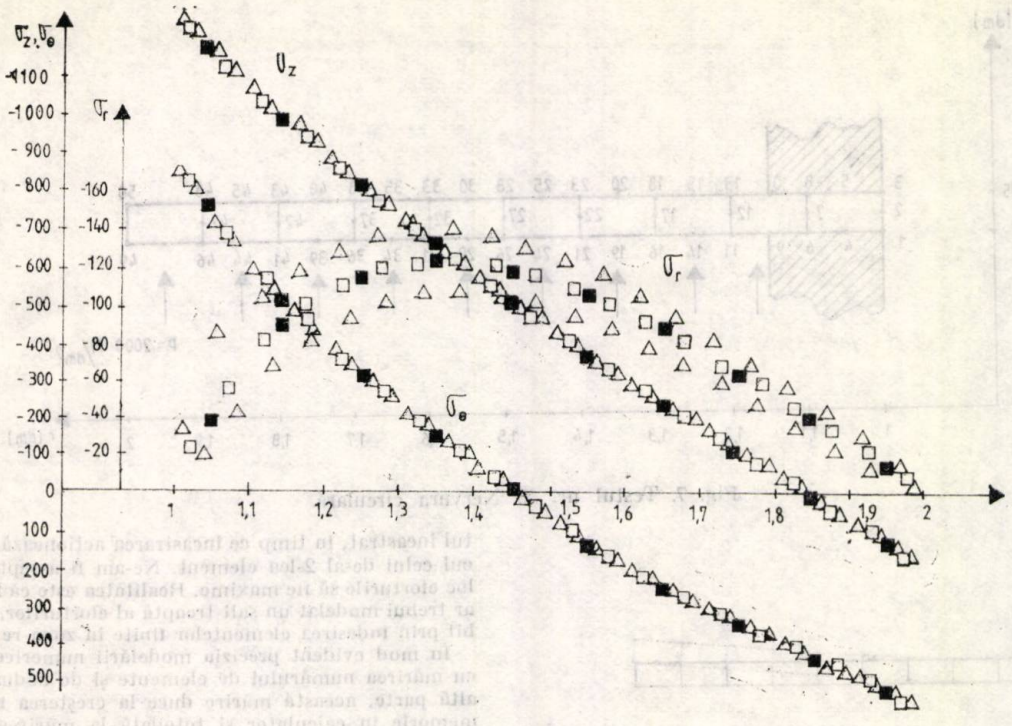


Fig. 5. Testul nr. 1. Graficele eforturilor radial, axial și tangențial; □ — discretizarea a; ■ — discretizarea b; △ — discretizarea c.

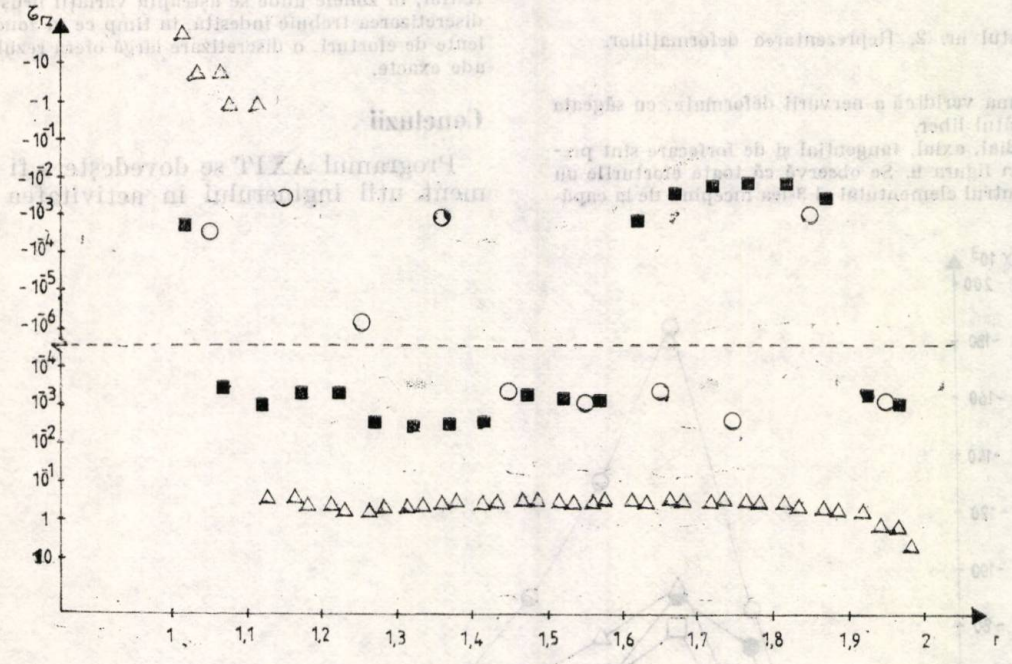


Fig. 6. Testul nr. 1. Graficul efortului de forfecare: ■ — discretizarea a; ○ — discretizarea b; △ — discretizarea c.

Triunghiurile însă au o plajă de valori pentru τ_{rz} mult mai largă : $(-10 \div 10)$, deci și eroarea introdusă de ele este mult mai mare. În cazul utilizării triunghiurilor trebuie manifestată o anumită circumspecție în interpretarea rezultatelor. Acest lucru a fost scos în evidență și în cazul rezultatelor obținute pentru σ_r.

TESTUL NR. 2

Pentru acest test s-a considerat cazul unei nervuri circulare încastrate pe o porțiune la suprafața interioară și asupra căreia acționează de jos în sus presiunea p. Nervura și discretizarea (de tip b) sînt prezentate în figura 7. În acest caz eforturile termice nu interesează și în consecință temperaturile nu constituie date de intrare. Se observă că încastrarea cuprinde un număr de opt noduri pentru care s-au impus deplasări radiale și axiale nule. Acesta este un exemplu în care un calcul analitic devine greoi, mai ales dacă s-ar considera și eforturile termice.

Deformarea nervurii, furnizată de AXIT în primul set de date, este reprezentată la o scară mult mărită în figura 8.

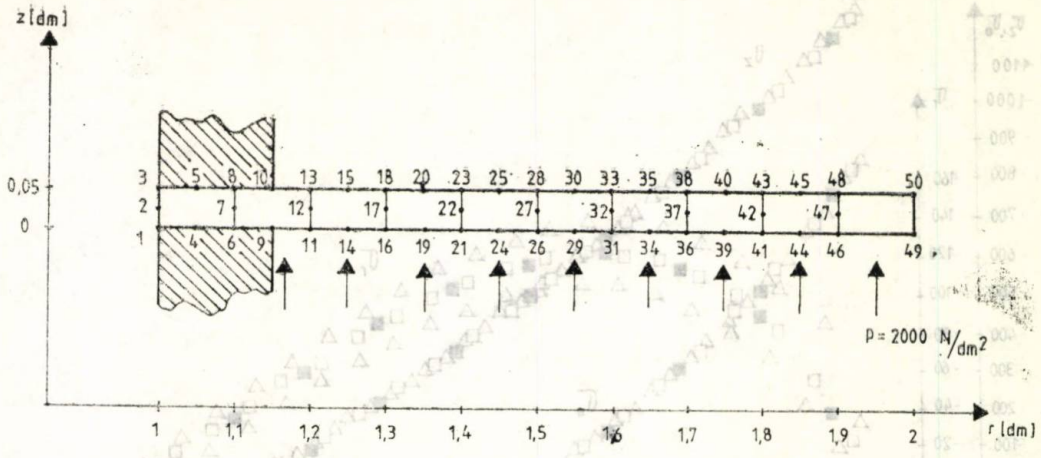


Fig. 7. Testul nr. 2. Nervura circulară.

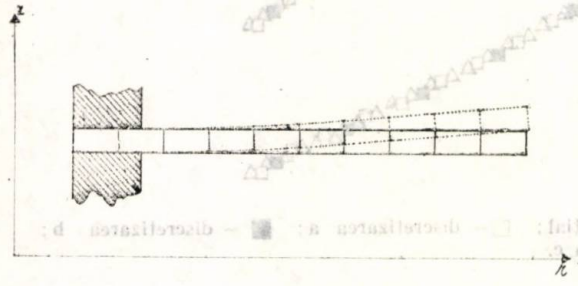


Fig. 8. Testul nr. 2. Reprezentarea deformațiilor.

Se constată forma veridică a nervurii deformate, cu săgeata maximă la capătul liber.

Eforturile radial, axial, tangențial și de forfecare sînt prezentate grafic în figura 9. Se observă că toate eforturile au un maxim în centrul elementului al 3-lea începînd de la capătul încastrat, în timp ce încastrarea acționează pînă la mijlocul celui de-al 2-lea element. Ne-am fi așteptat ca în acest loc eforturile să fie maxime. Realitatea este că în acest punct ar trebui modelat un salt treaptă al eforturilor, lucru realizabil prin îndesirea elementelor finite în zona respectivă.

În mod evident precizia modelării numerice crește odată cu mărirea numărului de elemente și de noduri. Dar, pe de altă parte, această mărire duce la creșterea necesarului de memorie în calculator și totodată la mărirea timpului de rulare a programului.

De aceea, trebuie stabilit un raport optim, proces în care intuiția utilizatorului are un cuvînt important de spus, [8, 10]. Astfel, în zonele unde se așteaptă variații bruște de eforturi discretizarea trebuie îndesită, în timp ce în zonele cu variații lente de eforturi, o discretizare largă oferă rezultate suficient ade exacte.

Concluzii

Programul AXIT se dovedește a fi un instrument util inginerului în activitatea de cerce-

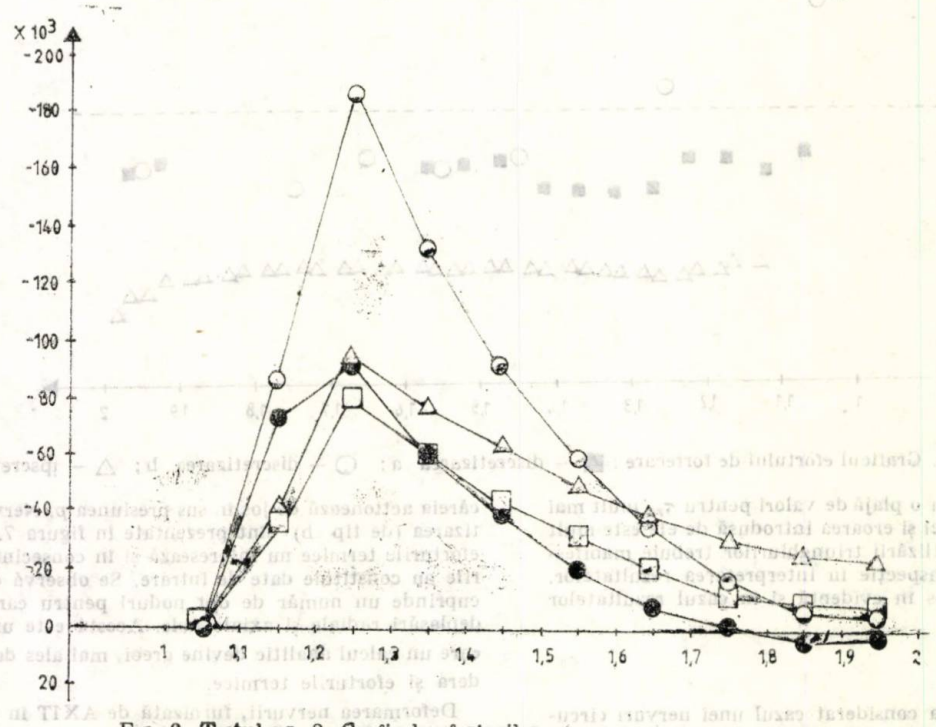


Fig. 9. Testul nr. 2. Graficele eforturilor : ○ — σ_r ; △ — σ_θ ; □ — τ_{rz}.

tare și proiectare a echipamentelor mecanice și în special a echipamentelor termomecanice din cadrul centralelor electrice clasice și nucleare. Exemplele prezentate în teste au pus în evidență capacitatea programului de a rezolva problemele pentru o serie de geometrii relativ simple și pentru care există termen de comparație a rezultatelor în bibliografie. Marele avantaj al unui astfel de program constă însă în posibilitatea calculării eforturilor în interiorul unor corpuri cu geometrii și solicitări complexe, situații pentru care nu se dispune de formule analitice de calcul.

AXIT, implementat pe un calculator mai mare poate rezolva probleme complexe pentru corpuri omogene cu geometrii și solicitări axial-simetrice. Astfel de situații se întîlnesc frecvent în cadrul centralelor electrice clasice și nucleare. Este știut că elementele componente ale reactorului nuclear PHWR utilizat la CNE Cernavodă au aproape în totalitate o geometrie cilindrică și sînt solicitate aproximativ axial-simetric. În studiul acestora, programul AXIT își poate evidenția utilitatea.

Bineînțeles, este necesară și o experiență în activitatea de proiectare a echipamentelor în general și de utilizare a metodelor numerice cu elemente finite. Această experiență se manifestă în cadrul procesului de modelare a geometriilor date, astfel încît să poată fi tratate ca fiind axial-simetrice. În al doilea rînd, procesul de discretizare face apel la această experiență, știut fiind faptul că de calitatea discretizării depinde acuratețea rezultatelor. Ținînd cont de aceste observații programul AXIT poate fi utilizat cu rezultate foarte bune.

Bibliografie

[1] Brătianu, C. *Metode cu elemente finite în dinamica fluidelor.* Editura Academiei R.S.R., București, 1983.

[2] Brătianu, C., Popescu-Vifor, B. *Analiză numerică cu elemente finite a cîmpurilor termice axial-simetrice, cu aplicații la echipamente energetice nucleare.* Lucrarea 4/4, Sesiunea tehnico-științifică ICEMENERG, București, 27—28 septembrie 1985.

[3] Brătianu, C., Popescu-Vifor, B. *Modelare cu elemente finite a cîmpurilor termice axial-simetrice* : In : Energetica, 35, 1987, nr. 7, p. 307—313.

[4] Buzdugan, Gh. *Rezistența materialelor.* Editura Tehnică, București, 1980.

[5] Fridrich, J., Hratec, T., Palyza, V. *Rechennachweis längerer Lebensdauer der Hochdruckschieber SIGMA.* In : Die Schwerindustrie der Tschechoslowakie, 2/87.

[6] Olariu, V., Brătianu, C. *Modelare numerică cu elemente finite.* Editura Tehnică, București 1986.

[7] Pascariu, I. *Elemente finite, concepte-aplicații.* Editura Militară 1985.

[8] Rao, S. S. *The Finite Element Method in Engineering.* Pergamon Press, New York, 1982.

[9] Tayol, M., Mischkot, E., Sills, E. H., Segel, A. W. L. *„ELOCA-A : A Code for Radial and Axial Behaviour of CANDU Fuel Elements at High Temperatures.* In : Nuclear Technology, February 1987.

[10] Zienkiewicz, O. C. *The Finite Element Method.* Mc Graw-Hill Book Company, London, 1977.

(Primit la 1 iunie 1988, acceptat la 3 octombrie 1988)

NOUTĂȚI

Din energetica mondială

COMPANIA TOSHIBA A PUS LA PUNCT TEHNOLOGIA MATERIALELOR CU SUPRACONDUCTIVITATE

Cercetătorii de la societatea Toshiba au pus la punct un material ceramic care funcționează în condiții de supraconductivitate la o temperatură de 179,3° C, sau 93,7 pe scara Kelvin (deasupra lui zero absolut), printre cele mai înalte temperaturi din lume pînă în prezent pentru realizarea supraconductivității.

Răcit cu azot lichid, materialul cu temperatură critică ridicată (un oxid care combină ytriul cu bariul, cuprul și oxigenul —y—Ba—Cu—O) începe tranziția spre supraconductivitate la 100,0 K (—173°C) și nu manifestă rezistență electrică la 93,7 K.

Mai mult chiar, pe baza tehnologiei proprii de prelucrare a ceramicii, Toshiba ocupă locul întîi în lume la prelucrarea materialului y—Ba—Cu—O în țagle de sîrmă (cu ceramică cu un diametru de 0,6 milimetri) și în benzi (5 mm lungime, 0,1 mm grosime).

Acest pas este foarte important pentru aplicarea practică a unor astfel de supraconductoare la temperatură critică înaltă, deoarece vor fi folosite în primul rînd sub forma bobinelor. Cînd este sub forma țaglelor de sîrmă, materialul începe tranziția la 93,5 K (—179,5°C) și nu are rezistență la 87,0 K (—186°C).

Supraconductivitatea este un fenomen special în care anumite materiale (conductoarele) își pierd brusc întreaga rezistență electrică atunci cînd sînt răcite la o „temperatură critică" aproape de zero absolut. Aceasta înseamnă, de fapt, că circulația curentului se face în mod continuu, fără nici o pierdere de energie, într-un inel făcut dintr-un material cu supraconductivitate. Folosit ca magnet, materialul ar putea exercita o forță magnetică cu mult mai puternică decît electromagneții actuali.

Supraconductoarele disponibile la ora actuală, în principal niobiu-titaniu, au nevoie de temperaturi foarte scăzute; în felul acesta sînt foarte costisitoare, iar aplicațiile lor sînt limitate. Cercetarea intensivă la nivel mondial are drept scop dezvoltarea unor noi supraconductoare care să funcționeze la o temperatură cît mai apropiată de cea a camerei. Dacă se realizează acest obiectiv, atunci se va obține o ieftinire a răcirii și a materialelor, precum și o extindere a aplicațiilor.

Spre deosebire de supraconductoarele actuale, care necesită heliu lichid (—269,5°C), care este foarte scump, în vederea obținerii unei conductivități complet lipsite de rezistență, noul material ceramic pus la punct de Toshiba folosește azot lichid (—196°C), care este cu mult mai ieftin decît heliul lichid și mai ușor de obținut.

Cercetătorii de la Toshiba au studiat supraconductivitatea mai mult de 25 ani, acordînd o atenție specială problemei aliajelor și compușilor chimici pentru a descoperi aplicații la producerea energiei electrice, la fuziunea nucleară, la trenurile ridicate magnetic cu „vagon liniar", precum și în cazul sistemelor de imagini pe baza rezonanței magnetice (echipament electronic medical pentru diagnosticare).

(Din : Turbomachinery, vol. 26, nr. 5 iul. 1987)

NOUTĂȚI

Cronică

APELUL

COMITETULUI DE PLANIFICARE ȘI AL PARTICIPANȚILOR LA CEL DE AL XI-LEA FORUM ȘTIINȚIFIC MONDIAL DE ENERGETICĂ CĂTRE OPINIA PUBLICĂ MONDIALĂ

Moscova, 6 octombrie 1987

Se apropie ultimul deceniu al secolului XX. Acest secol s-a caracterizat prin imense realizări ale științei și tehnicii, care au modificat radical modul de viață al oamenilor.

Toate aceste realizări s-au desfășurat în paralel, iar unele au fost direct legate de impetuoasa dezvoltare a energeticii. În prezent, consumul mondial de energie a atins enormul nivel de 300 EJ/an, sau 7 mild tep.* Problema prezentului este crearea unui sistem sigur de alimentare cu energie pentru secolul XXI. Rezolvarea acestei probleme a și constituit tema dezbaterilor în cadrul Forumului.

Neținînd seama de faptul că toate elementele sistemului de combustibil și energie, inclusiv sistemele producerii, conversiei, transportului și utilizării energiei, se perfecționează continuu, creșterea venitului național necesită o creștere corespunzătoare a consumului de energie. Aceasta poate fi satisfăcută prin creșterea extracției de combustibili, prin construirea de obiective noi și mai eficiente — centrale electrice, conducte, linii de transport electrice și altele.

Astăzi, noi înțelegem că o continuare a dezvoltării de tip extensiv a energeticii nu este posibilă. Aceasta legat de caracterul limitat al resurselor energetice, de amplasarea lor neuniformă pe glob, de enormele investiții necesitate de către sistemul de combustibil și energie, de influența negativă tot mai accentuată a acestuia asupra mediului înconjurător.

Comitetul de planificare și participanții la cel de al XI-lea Forum Științific Mondial de Energetică, analizînd în ședințe situația energetică în lume și în diverse țări, examinînd lucrările cu caracter de perspectivă și cercetările de prognoză, se adresează opiniei publice mondiale și remarcă :

1. Necesarul de energie al omenirii va crește și în continuare, îndeosebi în țările în curs de dezvoltare, a căror înzestrare energetică se găsește la un nivel foarte scăzut. Problema constă în a găsi mijloacele prin care să se diminueze ritmul creșterii consumului de energie fără a se diminua ritmul de creștere a venitului național al țărilor. În acest scop este necesar, în primul rînd, să se asigure o economisire rațională a energiei pe tot ciclul de la resursele primare la consum.

2. Deosebit de importantă este reducerea consumului de petrol și de produse petroliere, ale căror variații de prețuri au devenit unul din factorii destabilizatori ai economiei mondiale și care pot genera conflicte serioase. Economisirea nemijlocită a combustibilului petrolier prin perfecționarea sistemelor de utilizare a acestuia și prin înlocuirea sa cu combustibili mai puțin deficitari constituie una din cele mai importante probleme în imediata perspectivă.

3. Ponderea energiei electrice în balanța energetică de ansamblu crește mai rapid decît necesarul total de energie. Forumul consideră că această tendință reprezintă un progres, întrucît energia electrică permite creșterea productivității muncii și a calității acesteia, introducerea automatizării, utilizarea tehnologiilor noi, creșterea nivelului de trai.Creșterea producției de energie electrică necesită construirea de noi centrale electrice și reconstruirea celor existente. Și într-un caz și în celălalt este necesară creșterea randamentelor. Creșterea eficienței aparatelor și instalațiilor consumatoare de energie electrică poate fi considerată ca o sursă suplimentară de energie electrică.

4. Energetica este strîns legată de ecologie. Restricțiile tot mai drastice privind diversele emanații nocive pun în fața energeticienilor noi probleme, care trebuie rezolvate prin elaborarea de tehnologii eficiente și necostisitoare. Utilizarea combustibililor organici atrage după sine în mod inevitabil emanarea în atmosferă a unor substanțe ce conțin oxizi — cauze ale ploilor acide, bioxid de carbon — a căror concentrație crescută amenință modificarea climei mondiale. Centralele nuclearoelectrice nu prezintă unele dintre aceste neajunsuri. Cu toate acestea, este necesar să se întreprindă toate măsurile în vederea obținerii siguranței în exploatare și a securității centralelor nuclearoelectrice.

5. Este evident că energetica secolului XXI nu va fi numai o copie extinsă și îmbunătățită a ceea ce reprezintă ea în prezent. Încă de pe acum se întrevăd elemente ale unor noi tendințe, dar încă nu se poate spune care din acestea vor atinge maturitate tehnologică și vor juca un rol important pe scena energetică. Sinteza termonucleară controlată, sursele reînnoibile de energie, inclusiv transportul energiei din cosmos, energetica hidrogenului, pot schimba substanțial structura energeticii mondiale, într-o perspectivă îndepărtată. Privind în viitor, aceste direcții trebuie sprijinite pe toate căile.

6. Energetica, prin esența sa, este internațională. Colaborarea internațională în domeniul energeticii va asigura un progres rapid pe direcțiile principale de dezvoltare, va permite realizarea în comun a unor proiecte care depășesc posibilitățile de a fi înfăptuite de către o singură țară. O astfel de colaborare, pe scară largă, în domeniul energeticii, trebuie să fie organizată între diverse țări și, în particular, între Est și Vest. Aceste eforturi ar putea include cercetări comune în domeniul sintezei termonucleare controlate, precum și în domeniul reactoarelor nucleare cu un grad superior de siguranță în exploatare.

7. Energetica este un factor important care influențează stabilitatea politică și economică. Eforturile oamenilor de știință, ale inginerilor, economiștilor, sociologilor, activiștilor în domeniul vieții sociale, antrenați într-o măsură sau alta în rezolvarea problemelor curente sau de viitor ale energeticii, trebuie să fie conjugate pentru a asigura stabilitatea la nivel mondial și regional.

8. Avînd în vedere complexitatea problemelor legate de sectorul energetic, este necesar ca acestea să fie analizate mutidisciplinar, de aceea este de dorit ca Forumul Științific Mondial de Energetică, prin comitetul său de planificare, să înființeze grupe internaționale de lucru pentru examinarea diverselor aspecte, de exemplu : urbanizarea, noile tehnologii energetice, protecția biosferei, utilizarea mai eficientă a energiei nucleare și altele.

9. Toți participanții la Forum consideră că, în vederea rezolvării problemelor care stau în fața omenirii, inclusiv a celor energetice, este necesară o pace sigură și durabilă. Reducerea înarmărilor în lume poate aduce o importantă contribuție atît prin însănătoșirea climatului politic mondial, cît și prin disponibilizarea de noi resurse și materiale pentru dezvoltarea energeticii.

(După : Energhia, nr. 1/1989, p, 12—13)

Ing. Em. noil Bărbulescu

*) 10 mild t c.c.

A 7-a CONFERINȚĂ MONDIALĂ PENTRU ENERGIA HIDROGENULUI (7th WHEC) — „HIDROGENUL ASTĂZI"

Moscova 25—29 septembrie 1988

Conferința a fost organizată de Asociația Internațională pentru Energia Hidrogenului, Comitetul de Stat al U.R.S.S. pentru Educație, Academia de Științe a U.R.S.S. și Comitetul de Stat al U.R.S.S. pentru Energie Atomică.

Această prestigioasă manifestare științifică se înscrie în termeni de consens în vederea explorării și determinării unor direcții de acțiune, de importanță esențială pentru viitorul asigurării cu resurse în perspectiva dezvoltării civilizației planetei.

Tehnologiile de producere a energiei pe bază de hidrogen se înscriu, alături de tentativele consistente care se fac pentru aducerea în fază operațională a tehnicilor de reacție termonucleară de fuziune controlată și tehnologiile vizînd reactorii rapizi, ca principalele trei direcții de rezolvare a perspectivei de producere a energiei pentru viitorul omenirii.

Dintre cele trei direcții preconizate este de remarcat faptul că direcția energiilor bazate pe hidrogen se relevă ca direcție cu termenul cel mai apropiat de aducere în fază operațională. Acesta de fapt a fost contextul în care s-au dezbătut și s-au discutat problemele energiei hidrogenului la Conferința de la Moscova.

Trebuie subliniat interesul deosebit și larga audiență la care s-a situat organizarea acestei conferințe. Ca dovadă este ampla participare internațională marcată în cadrul lucrărilor de prezența reprezentanților specialiști din 35 de țări.

Structura de organizare a conferinței a fost marcată de împărțirea pe următoarele diviziuni :

Diviziunea A : Energia hidrogenului pe plan național și internațional și programe tehnologice
Diviziunea B : Producerea hidrogenului prin metode electrochimice și utilizare
Diviziunea C : Producerea hidrogenului prin metode termice sau de altă natură
Diviziunea D : Transmiterea, stocarea și distribuția hidrogenului
Diviziunea E : Tehnologia hidruri-hidrogen
Diviziunea F : Sisteme energetice integrate utilizînd hidrogen
Diviziunea G : Utilizări ale hidrogenului

Prezentarea lucrărilor s-a desfășurat marcînd două modalități : prezentare în plen și prezentare în cadrul diviziunilor.

Gazdele au marcat această remarcabilă trecere în revistă a posibilităților în domeniu cu o realizare de excepție, prezentarea aplicației utilizării hidrogenului în aviație concretizată prin zborul avionului TU — 155 propulsat prin combustia de hidrogen lichid, realizare a echipei conduse de prestigiosul specialist în domeniul construcțiilor aviatice sovietice A. A. Tupolev.

Conferința a întrunit în cadrul diviziunilor enumerate un număr de 31 comunicări în plen și un număr de 283 comunicări în diviziuni.

Structura pe țări a celor 314 comunicări susținute în cadrul lucrărilor conferinței se prezintă astfel : Argentina — 1 ; Australia — 1 ; Austria — 8 ; Belgia — 1 ; Brazilia — 6 ; Bulgaria — 11 ; Canada — 4 ; China — 11 ; Danemarca — 1 ; Egipt — 3 ; Anglia — 1 ; Finlanda — 1 ; Franța — 8 ; Republica Federală Germania — 33 ; Guyana — 1 ; Ungaria — 1 ; Islanda — 1 ; India — 7 ; Irak — 3 ; Italia — 10 ; Japonia — 8 ; Kuweit — 1 ; Olanda — 1 ; Irlanda de Nord — 1 ; Norvegia — 1 ; Pakistan — 1 ; Polonia — 1 : România — 1 ; Elveția — 4 ; Turcia — 9 ; S.U.A. — 21 ; U.R.S.S. — 150 ; Venezuela — 1 ; Yugoslavia — 1.

Trebuie să semnalăm aspectul naturii ample a preocupărilor în domeniu existente pe plan mondial și ceea ce este mai important faptul că în prezent tehnologiile utilizînd hidrogenul au fost aduse la concretizare prin realizări practice și aplicative care au atins faza operațională.

La o supervizare, fără pretenții de a fi exhaustivă, sînt de remarcat ca domenii deosebit de stringente atinse în comunicări lucrările prezentate cum ar fi : Programe tehnologice și energia hidrogenului în U.R.S.S. și respectiv S.U.A., China, India, Canada, R. F. G. ; Sistem solar pentru energia hidrogenului în Libia (Libia, S.U.A.) ; Realizări recente în dezvoltarea tehnologiei electrolizei la temperatură înaltă în Germania (R.F.G.) ; Producerea hidrogenului prin metode fotocatalitice și fotoelectrochimice (Austria) ; Intensificarea procesului de electroliză a apei și aspecte economice ale producției de hidrogen (U.R.S.S.) ; Tehnologii moderne de producere a hidrogenului din combustibili fosili (S.U.A.) ; Tehnologii plasmachimice de producere a hidrogenului și transformarea purtătorilor de energie (U.R.S.S.) ; Tehnologii termochimice combinate cu utilizarea energiei solare (S.U.A.) ; Gazeificarea cărbunelui pentru producerea de hidrogen (Turcia) ; Studiu de simulare de producere termochimică a hidrogenului (Japonia) ; Producerea hidrogenului din cărbune (U.R.S.S.) ; Posibilități de producere a hidrogenului din sulfură de hidrogen sub efectul radiației ionizante (U.R.S.S.) ; Hidrogenul lichid — tehnologii de utilizare și de producere în S.U.A. : trecut, prezent și viitor (S.U.A.) ; Transmiterea și stocarea hidrogenului gazos (Franța) ; Aspecte de securitate privind utilizarea pe scară largă a hidrogenului (S.U.A.) ; Analiză exergetică a lichefierii hidrogenului (R.F.G.) ; Hidrogen pentru vehicule rutiere (Japonia) ; Studiul cineticii hidrurilor în domeniul de frecvență (Australia) ; Interacție a aliajului de magneziu cu hidrogen (U.R.S.S.) ; Proprietățile catalitice ale hidrurilor intermetalice în faza lichidă a proceselor de hidrogenare (U.R.S.S.) ; Probleme economice privind hidrogenul (S.U.A.) ; Aspecte ecologice ale utilizării pe scară largă a hidrogenului (Austria) ; Standarde tehnice, metode de purificare și aplicații ale hidrogenului ultrapur (China) ; Riscul tehnologic și controlul de siguranță privind sistemul dinamic (U.R.S.S.).

În cadrul diviziunii G „Utilizări ale hidrogenului" au fost prezentate lucrări interesante, cu caracter aplicativ și de utilitate practică. Astfel, în cadrul lucrării „Aplicații ale hidrogenului în aviație" autorul, A. A. Tupolev, a prezentat cea mai senzațională realizare și anume avionul de pasageri TU—155, care pentru prima dată în lume a efectuat un zbor, timp de o oră, utilizînd drept combustibil hidrogen lichid, îmbuteliat în recipienți sub presiune. S-a prezentat de asemenea sistemul de alimentare cu butelii de hidrogen lichid, care constă într-o înseriere bine pusă la punct de vehicule-tanchetă. S-a avut în vedere de asemenea, sistemul de siguranță împotriva unor eventuale accidente. Această realizare deosebită a fost prezentată și în cadrul expoziției tehnice care a însoțit desfășurarea lucrărilor conferinței și care a funcționat în cadrul Universității Lomonosov din Moscova. Această lucrare a stîrnit un mare interes în rîndul participanților, a fost apreciat caracterul de noutate marcînd un moment semnificativ în dezvoltarea viitoare a energeticii hidrogenului.

S-au prezentat proiecte pentru vehicule rutiere, concepute să funcționeze cu hidrogen lichid. În fază de investigație se află și realizarea unor dispozitive cu combustibil hidrogen, pentru avioane supersonice (Italia). S-a conturat foarte clar, argumentată de realizări concrete, perspectiva hidrogenului ca un combustibil pentru transportul viitorului.

Trebuie să semnalăm aspectul naturii ample a preocupărilor în domeniu existente pe plan mondial și, ceea ce este mai important, faptul că în prezent tehnologiile utilizînd hidrogenul au fost aduse la concretizare prin realizări practice și aplicative care au atins faza operațională.

Lucrările conferinței au fost tipărite în trei volume totalizînd 2 142 de pagini și 140 de comunicări in extenso.

Conferința a înregistrat un amplu răsunet internațional, validînd importanța de esență a acestui domeniu de activitate tehnico-științifică prin care s-a statuat o tradiție internațională consistentă. Se remarcă și caracterul de continuitate, de dezvoltare ascendentă a acestui domeniu de activitate, viitoarea Conferință Mondială pentru Energia Hidrogenului (a 8-a) urmînd să se desfășoare în Hawai, în Honolulu, în perioada 22—27 iunie 1990.

Programul științific al Conferinței a acoperit un cîmp larg de preocupări privind energia hidrogenului, relevînd realizări industriale și rezultate teoretice, pornind de la energia hidrogenului pe plan internațional și internațional și de la programele tehnologice, continuînd cu producerea hidrogenului prin metode electrochimice, termice sau de altă natură, cu transmiterea, stocarea și distribuția hidrogenului, tehnologii hidruri-hidrogen și încheind cu utilizarea hidrogenului în sisteme energetice integrate, spațiu, aviație, vehicule rutiere și industrie, cu luarea în considerare a aspectelor ecologice și de siguranță a fiecăruia din utilizări.

Ing. Maria Morariu

Din energetica mondială

UNDELE ELASTICE REZOLVĂ PROBLEMA DETECTĂRII FISURILOR DIN CONDUCTE

Dezvoltînd o tehnică engleză de stabilire cu precizie a coroziunii sau a defectelor mecanice din conductele de petrol și gaz, specialiștii au perfecționat metoda pentru detectarea fisurilor.

Inițial, British Gas a dezvoltat utilizarea a ceea ce este cunoscut sub numele de „intelligent pigs" (purceluși inteligenți) pentru detectarea defectelor din propria rețea de conducte de gaz, iar acum aceste dispozitive sînt disponibile pe piață, putînd fi folosite în reviziile conductelor, iar personalul din exploatare din diverse părți ale lumii a început să aprecieze această tehnică.

„Pigs" sînt vehicule care utilizează fluxul de gaz sau petrol pentru transportul prin conductă a echipamentului electronic special pentru revizii. La bord se găsesc magneți puternici, care aplică cîmpul magnetic în lungul conductei, și senzori care înregistrează distorsiunile de cîmp cauzate de defecte. Înregistrarea și prelucrarea datelor sînt, de asemenea, efectuate pe panou, iar energia este furnizată de baterii montate în interior.

Miniaturizarea componentelor electronice și de înregistrare a redus în mod progresiv dimensiunea vehiculelor de revizie, iar la ora actuală există pentru conducte modele al căror diametru variază între 200—1200 mm.

Defectele din interiorul și exteriorul pereților conductelor se încadrează într-o distanță de 1,5 m fără ca în timpul reviziei conducta să fie scoasă din funcțiune.

Detectarea fisurilor în conducte a prezentat o problemă mai mare, după cum a afirmat unul dintre directorii de la British Gas, care a explicat că fiind extrem de subțiri fisurile nu reprezintă o pierdere însemnată de metal și de aceea nu pot fi detectate prin metoda magnetică. S-a găsit soluția folosind „undele elastice". Această metodă presupune dirijarea unor unde ultrasonice în oțelul conductei și interpretarea formei undei reflectate.

„Interpretarea este ea însăși o artă și se bazează pe o combinație de mai multe tehnici de prelucrare din ingineria electronică și analize de date".

În conductele care aparțin companiei British Gas a fost deja verificat un sistem prototip de verificare a fisurilor, iar probe suplimentare au fost efectuate de British Gas într-o conductă cu un diametru de 914 mm aparținînd companiei Trans Canada.

Dezvoltarea detectorului de fisuri s-a realizat prin colaborarea oamenilor de știință din cadrul laboratorului de cercetare Harwell aparținînd UKAEA (UK Atomic Energy Authority).

(După London Press Service)

DEPARTAMENTUL ENERGIEI ELECTRICE DIN S.U.A. ŞI-A PROPUS GĂSIREA UNOR NOI METODE PENTRU ARDEREA CĂRBUNELUI

În cadrul Centrului de Tehnologie Energetică din Morgantown, statul Virginia, sînt în curs de realizare şase noi metode pentru arderea cărbunelui curat şi eficient. Aceste studii vor fi foarte apreciate pe piaţa de cazane mici pentru care focarele cu pat fluidizat nu sînt încă realizabile din punct de vedere comercial. Fiecare metodă prezintă avantaje importante în comparaţie cu arzătoarele convenţionale în pat fluidizat.

Focarele cu pat fluidizat pot arde cărbune ieftin, cu conţinut mare de sulf, pentru producerea aburului şi a energiei electrice, fără să necesite utilizarea unui tratament costisitor de curăţire a gazelor de ardere. În focarele cu pat fluidizat, aerul trece printr-un pat de cărbune şi particule de carbonat de calciu, producînd o agitaţie a stratului ca a unui lichid în fierbere. Carbonatul de calciu captează bioxidul de sulf care se formează în timpul arderii cărbunelui în pat. În felul acesta nu mai este necesar tratamentul scump de curăţire care se aplică la arzătoarele convenţionale. Arzătoarele în pat fluidizat funcţionează la temperaturi mai scăzute comparativ cu focarele convenţionale care ard cărbune, reducînd un alt agent major de poluare a aerului, oxizii de azot.

Studiile au rezultat în urma celor două solicitări făcute în cadrul Programului de Cercetare şi Dezvoltare. Au fost selecţionate patru proiecte din 17 propuneri primite. Proiectele au avut în vedere rezolvarea problemelor referitoare la focarele cu pat fluidizat în cazul cînd sînt întrebuinţate în aplicaţii industriale uşoare la încălzirea locuinţelor (complexe de locuinţe).

Se aşteaptă ca totalul investiţiilor făcute de guvern pentru cele patru proiecte să fie de 6,2 milioane dolari, iar cota parte a participanţilor de aproximativ de 3,4 milioane dolari.

Riley-Stoker, Worcester va pune la punct şi va supune probelor un focar cu pat fluidizat care va arde mai multe tipuri de combustibil solid. Va fi un arzător cu pat cu circulaţie în care cărbunele şi carbonatul de calciu sînt transportate pe partea superioară a focarului după care sînt separate din debitul de gaz şi trimise înapoi la partea inferioară a focarului. Metoda promite un randament mare al arderii, controlul emanaţiilor de azot şi sulf, utilizarea sporită a carbonatului de calciu şi reacţie rapidă la modificările care apar în necesităţile de abur. Focarul poate arde cărbune de dimensiuni foarte variate şi poate fi uşor adoptat la arderea combustibililor lichizi şi a celor în amestec de şlam.

Hydrocarbon Research Inc., Lawrenceville, M.J., propune un concept nou numit focar cu pat fluidizat bilateral cu mai multe ţevi de debitare. Acest focar va avea mai multe ţevi interne de debitare şi ţevi de deversare care dirijează aerul şi solidele în sus şi în jos. Această configuraţie va asigura arderea bună a carbonului, siguranţă în funcţionare, nepoluarea mediului înconjurător, rentabilitate din punctul de vedere al costului.

Energy and Environmental Research Inc., Irvine, CA, va pune la punct un focar cu pat fluidizat răcit cu aer care să alimenteze cu aer cald, apă caldă, sau abur tehnologic, în cadrul unei aplicaţii comerciale sau a uneia industriale uşoare. Camera de ardere nu va avea amplasate în pat ţevile schimbătorului de căldură supuse eroziunii sau coroziunii. Transferul cărbunelui şi al carbonatului de calciu şi evacuarea carbonatului de calciu uzat şi a cenuşii se vor face, în principiu, fără praf.

Management and Technology Consultants Inc., Columbia MD, va încerca un focar cu pat fluidizat în care aerul este trimis prin patul de particule de carbonat de calciu şi de cărbune incandescent. Acest impuls măreşte performanţa sistemului. Focarele cu impulsuri au coeficienţi ridicaţi de degajare a căldurii şi de transfer al căldurii, care impun o mărime mai redusă a focarului.

Din opt propuneri au fost selecţionate două proiecte, ca răspuns la solicitările din cadrul Programului de Cercetare şi Dezvoltare lansate în scopul punerii la punct a unor metode perfecţionate de utilizare a focarelor cu pat fluidizat în aplicaţii comerciale (producţia de abur de la 75 000 pînă la 150 000 livre pe oră). Investiţiile făcute de guvern pentru cele două proiecte ajung la 2,7 milioane dolari, iar cota parte a participanţilor va fi de aproximativ 2,6 milioane.

York—Shipley, York, PA, a propus un pat fluidizat turbionar care combină caracteristicile unui pat fluidizat convenţional cu cele ale unui focar cu ciclon. În loc ca aerul de ardere să fie în întregime introdus prin partea inferioară a focarului ca în majoritatea instalaţiilor cu pat cu bule, o parte din aer este injectat prin pereţi, producînd o mişcare turbionară a debitului. Acest arzător turbionar se caracterizează printr-o intensitate mare a arderii, cu toate că este cu mult mai mic decît un focar convenţional cu ardere în pat fluidizat.

Tot în cadrul acestui proiect Riley Stoker, Worcester, MA, va pune la punct un focar cu pat fluidizat cu circulaţie care arde mai multe solide. Proiectul primei generaţii a început să fie vîndut pentru aplicaţiile pe scară largă după o perioadă de zece ani. Noul proiect va folosi pentru aplicaţiile industriale mai mici tehnologia focarului cu pat fluidizat din a doua generaţie, care are posibilitatea să ardă mai multe tipuri de combustibili solizi.

Programul pentru perfecţionarea focarului cu pat fluidizat se află sub directa îndrumare a Centrului de Tehnologie Energetică Morgantown din cadrul Departamentului Energiei din S.U.A.

(Din : Turbomachinery, vol. 26, nr. 5, iul. 1987)

CENTRALELE ELECTRICE CU PILE DE COMBUSTIE AU DEVENIT COMERCIALE

Au apărut noutăţi în tehnologia pilei de combustie pe bază de acid fosforic? Foarte multe. Iar modificările survenite sînt de natură să convingă pe planificatorii din cadrul întreprinderilor de energie electrică că în următorii cinci ani trebuie să aibă în vedere pentru sistemele lor centralele electrice cu pilă de combustie.

Pilele de combustie oferă avantaje enorme pentru climatul de incertitudine care caracterizează aspectul planificării din cadrul întreprinderilor de energie electrică, deoarece aceste pile utilizează o multitudine de combustibili care pot fi comandaţi repede şi în creşteri modulare. Tehnologia pilei de combustie combină combustibilul şi oxigenul fără ardere în scopul producerii electricităţii curat şi eficient. Cercetarea tehnică continuă a avut ca rezultat centrale electrice pe bază de pilă de combustie, caracterizate printr-un consum specific de căldură foarte bun, răspuns electric rapid şi o concepţie modulară uşor de întreţinut.

Deoarece pilele de combustie nu prezintă dezavantaje pentru mediul ambiant, centralele electrice pot fi amplasate în zone urbane aglomerate. Aceste calităţi flexibile pot să-i ajute pe directorii întreprinderilor să continue creşterile necesare de capacitate fără să fie necesare nici cheltuieli mari pentru construcţie şi nici perioade mari de amortizare ca în cazul celor mai multor centrale convenţionale. Pilele de combustie — care sînt în prezent gata pentru utilizare în module mici asamblate în fabrică—ar putea fi uşor montate în sistemul de energie electrică în doi sau trei ani.

Din : Turbomachinerg, vol. 26, nr. 5, iul. 1987)

* * *

O recentă analiză pentru compararea preţului energiei în S.U.A. concluzionează că investiţia S.U.A. în energie nucleară este foarte rentabilă în comparaţie cu scutirea plăţii echivalentului de petrol şi gaz în acest scop. Pe aceeaşi perioadă chiar şi cele mai recente centrale nucleare, cele mai costisitoare care s-au construit vreodată, întrec economic de departe centralele pe păcură bazate pe ciclul de viaţă. S-ar putea construi centrale noi nucleare, standardizate care să fie mai ieftine decît centralele pe păcură, chiar dacă preţul petrolului ar scădea pînă la 9 dolari barilul.

(Din : CANDU UPDATE, 4 aprilie 198)

Informăm cititorii că în publicaţia ENERGETICA PESTE HOTARE— seria Informaţii tehnico-ştiinţifice au apărut următoarele articole prelucrate din reviste străine:

VOL. III/1986

Centrale nuclearoelectrice

1. Tendinţe în energetica nucleară
2. Fapte şi argumente în discuţia actuală despre energia nucleară
3. Deteriorarea tuburilor de presiune la CNE Pickering — unitatea 2
4. Comitetul canadian pentru energie atomică a încheiat revizuirea accidentului de la Cernobil
5. Noua acţiune de cooperare pentru securitatea nucleară (AIEA — IRS)
6. Sistemul internaţional de documentare nucleară şi contribuţia sa la echiparea nuclearoenergetică a Mexicului
7. Convenţia asupra notificării rapide a unui accident nuclear
8. Convenţia asupra asistenţei în caz de accident nuclear sau situaţie de urgenţă radiologică
9. Repercusiunile după Cernobil în lume — cronică şi perspective ale acţiunii de cooperare
10. Prevederi ale Agenţiei Internaţionale pentru Energie Atomică în legătură cu mentenanţa centralelor nuclearoelectrice
11. Schimbarea buclelor de recirculaţie la CNE Mühleberg
12. Progrese obţinute în disponibilitatea, mentenanţa şi exploatarea centralelor nuclearoelectrice
13. Disponibilitatea grupurilor termogeneratoare în Polonia văzută din punctul de vedere al conducerii industriei producătoare de energie electrică
14. Înregistrarea de date şi analize
15. Disponibilitatea este un program total
16. Înregistrarea de date referitoare la disponibilitatea ENEL şi sistemul de analiză
17. Sistemul de producere de date referitoare la disponibilitate (GADS) aparţinînd NERC
18. Sistemul VGB pentru înregistrarea şi evaluarea evenimentelor apărute în timpul funcţionării
19. Supravegherea şi controlul situaţiei centralei şi programarea activităţilor de întreţinere
20. Instruirea personalului în cadrul Comisiei Federale de Energie Electrică (CFE), Mexic
21. Instruirea şi cursurile de reciclare pentru personalul centralelor electrice
22. Instruirea personalului lucrător al centralelor electrice de către Kraftwerksschule E.V.
23. „Cazuri de deranjament" în centralele nucleare din R.F.G.
24. Prevenirea accidentelor în contextul progresului tehnic
25. Simulator de analiză pentru centrale nucleare
26. Polizarea electrochimică a suprafeţelor de oţeluri superioare în centralele nucleare

VOL. IV/1988

Centrale termoelectrice

1. Nivelul înalt de disponibilitate în sistemul cazan-turbină
2. Disponibilitatea centralelor termoelectrice în ţările în curs de dezvoltare
3. Disponibilitatea în exploatare a centralelor electrice din India
4. Experienţa şi rezultatele obţinute în domeniul îmbunătăţirii disponibilităţii blocurilor energetice văzute de pe poziţiile furnizorului
5. Înregistrarea de lungă durată a parametrilor de funcţionare pentru calculul duratei de viaţă
6. Cercetarea jocurilor şi vibraţiilor rotorului la CIP al turbinei tip T —250/300—240
7. Îmbunătăţirea tehnologiei de transport pentru cărbunele brun brut umed — o contribuţie la siguranţa în alimentarea centralelor pe timp de iarnă
8. Aplicarea rezultatelor experienţei obţinute în arderea lignitului de Texas la proiectele unor termocentrale noi
9. Cazan de abur pentru sistemele de alimentare cu căldură cu instalaţie integrată de desulfurare a gazelor de ardere
10. Efectul diferitelor măsuri de reducere a conţinutului de NO_x asupra procesului de ardere şi asupra gazelor de ardere la instalaţiile de ardere cu ciclon
11. Producerea de energie cu ajutorul şistului bituminos
12. Informaţii tehnice

VOL. V/1988

Conducerea și automatica SE

1. Echivalenți statistico-probabilistici de sisteme vaste de alimentare cu energie electrică
2. Sistem de reglare a unei instalații cu producere combinată de energie electrică și abur
3. Luarea în considerație a generatoarelor electrice locale la stabilirea fiabilității sistemelor de distribuție a energiei electrice
4. Reglajul debitului pompelor centrifugale cu ajutorul unui dispozitiv de reglaj electronic al turației
5. Hyatronic$^{R}_{m,ms}$ — un sistem electronic pentru reglajul pompelor centrifugale cu reglajul turației fără trepte

Rețele electrice

1. Perfecționarea normării calității energiei electrice
2. Situația actuală și tendințele de dezvoltare a întrerupătoarelor de înaltă tensiune

VOL. VI/1988

Conducerea și atomatica SE

1. Noua telecomandă centralizată la EdF

Centrale termoelectrice

1. Modernizări aduse prin utilizarea instalațiilor de ardere a cărbunelui zgurificat și avantajele acestora față de instalațiile de ardere în pat fluidizat
2. Sistemele cu ardere în pat fluidizat sub presiune, cu randament mare

Centrale nuclearoelectrice

1. Aspecte tehnico-economice ale centralelor nucleare actuale din S.U.A., Franța, R.F.G. și Japonia
2. Scoaterea din funcțiune a instalațiilor nucleare în S.U.A.

Rețele electrice

1. Evoluția și fiabilitatea autotransformatoarelor de mare putere pentru stațiile de interconexiune
2. Gradul de nesimetrie a vectorilor care reprezintă mărimi sinusoidale trifazate

Surse și tehnologii noi

1. Producerea energiei electrice în instalații eoliene și fotovoltaice
2. Fezabilitate, limite, impactul asupra mediului

Tehnologii chimice în energetică. Poluare

1. Propunerea unei noi tehnici pentru măsurarea cantității de cărbune nears prezent în cenușă

Publicația ENERGETICA PESTE HOTARE—seria Informații tehnico-științifice poate fi consultată la bibliotecile unităților d-voastră

Redacția revistei ENERGETICA cere scuze tuturor cititorilor și colaboratorilor săi pentru marea întîrziere survenită în apariția publicației.

CUPRINSUL

GENERAL AL REVISTEI ENERGETICA PE ANUL 1988

I. Orientări în energetică

1. Lucia Roşca : Probleme actuale ale energeticii româneşti' nr. 1, p. 8—11.
2. Vasile I. Nitu : Conceptualizarea fiabilizării şi disponibilităţii, cu aplicare în energetică, nr. 1, p. 33—38.
3. Eugeniu Pavel, Manfred Stein, Florentina Mihăilescu : Conceptul de fiabilitate în studiile de dezvoltare a sistemelor energetice, nr. 2, p. 49—53.
4. Liviu Lup : Determinarea eficienţei investiţiilor din instalaţiile solare pe baza criteriului „durata de restituire a împrumutului energetic cu dobîndă", nr. 4, p. 176—181.
5. Lucian Lefter, Gheorghe Luca : Valorificarea potenţialului hidroenergetic, nr. 7, p. 289—293.
6. Ovidiu Ţuţuianu : Indicatori privind analiza entropică a organizării proceselor de producţie în energetică şi în alte sisteme industriale, nr. 7, p. 293—296.
7. Manfred Stein, Anca Vâlcereanu, Ştefan Diaconu : Procedeu pentru analiza din punctul de vedere al fiabilităţii unor sisteme cu structură variabilă, nr. 8, p. 337—341.
8. Gavril Niac, Ioan Pop : Instalaţii de gazeificare în strat a cărbunilor, nr. 10, p. 433—442.
9. George Manolescu, Ana Maria Petrescu, Anton Vlădescu, Gheorghe Vâlcereanu : Considerarea siguranţei în studiile de planificare a sistemului electroenergetic, nr. 12. p. 529—536.

II. Energetica în unităţi economice

1. Ion Georgescu : Economii de energie prin acţionarea cu turaţie variabilă a pompelor şi ventilatoarelor în automatizarea proceselor tehnologice, nr. 3, p. 99—109.
2. Günther Weinrich, Mircea Lungu, Ştefan Stăiculescu, Radu Ţiucra : Acţionări electrice reglabile pentru pompe şi ventilatoare. Stadiul şi tendinţele pe plan mondial şi în R. S. România, nr. 3, p. 110—126.
3. Ion Dan, Viorica Şerbu, Constantin Zamfirescu, Dan Tomozei, Cristian Gheorghiu : Acţionări electrice reglate de putere cu motoare sincrone comandate prin convertizoare statice de frecvenţă, nr. 3, p. 126—135.
4. Vasile Cărăşel, Călin Predescu : Realizări privind echimentele de acţionări reglabile pentru pompe, ventilatoare şi compresoare la Institutul de Cercetări Ştiinţifice şi Inginerie Tehnologică — Maşini, Transformatoare şi Aparataj Electric şi Intreprinderea Electroputere Craiova, nr. 3, p. 136—141.
5. Dan Micu : Motoare asincrone cu rotorul în scurtcircuit standard, în acţionări reglabile, nr. 4, p. 145—147.
6. Lucian Radu : Efectele reglării caracteristicilor pompelor asupra reducerii consumului de energie, nr. 4, p. 148—152.
7. Nicolae Oprişiu : Criterii şi cerinţe privind alegerea acţionărilor electrice cu turaţie variabilă în serviciile interne ale centralelor electrice, nr. 4, p. 153—156.
8. Ioan Desiré Suceveanu : Analiza posibilităţilor de reglare a parametrilor tehnologici prin variaţia turaţiei agregatelor, nr. 4, p. 156—160.
9. Jean Constantinescu : Ierarhizarea şi dimensionarea obiectivelor de conservare a energiei, nr. 4, p. 164—167.
10. Constantin Neaga : Gradul optim de recuperare a căldurii gazelor de ardere evacuate din cuptoarele industriale, nr. 4, p. 167—172.
11. Constantin Norel Cristea, Dan Ohlgiesser, Anton Poslănescu : Sistem ierarhizat de supraveghere a sistemelor energetice industriale, nr. 5, p. 193—196.
12. Attila Galfi, Alexandru Horvath, Lajos Losonczi, Laszlo Patakfalvi : S stem de supraveghere a consumului de energie electrică, nr. 5, p. 196—200.
13. Eugeniu Pavel : Receptoare trifazate dezechilibrate Carcteristici şi particularităţi de funcţionare în regimuri stabilizate, nr. 6, p. 241—249.
14. Ioan Felea : Consideraţii privind stabilirea stărilor optime de funcţionare ale staţiilor de transformare pentru alimentarea cu energie electrică a consumatorilor industriali din domeniul construcţiilor de maşini, nr. 6, p. 250—257.
15. Anton Gârbacea : Analiza comparativă a eficienţei energetice privind acţionările pneumatice, electrice şi hidrostatice la execuţia lucrărilor de construcţii-montaje energetice, nr. 10, p. 443—448.
16. Dumitru Dobrinescu, Vasile Somoghi, Cornel Pătraşcu : Optimizarea generatoarelor de abur recuperatoare de căldură, nr. 10, p. 448—455.
17. Constantin Brătianu, Mihai Marius Voronca, Cornel Rotaru : Analiza cu elemente finite a cîmpurilor termice din semifabricate, la turnarea continuă, nr. 10, p. 455—460.
18. Cornel Ungureanu, Ioana Ionel : Posibilitatea folosirii în scopuri energetice a gazelor reziduale, nr. 11, p. 481—485.
19. Cornel Ungureanu, Călin Drug, Paul Oprişa, Petru Irre, Ioana Ionel : Realizări şi perspective privind tratamentul termic după sudare al corpur lor agabaritice, nr. 12, p. 537—543.

I

II. Dezvoltarea sistemului energetic

1. Persida Iancovici : Posibilităţi de evaluare a nivelului real de siguranţă în acoperirea consumului de energie electrică al sistemului energetic, nr. 2, p. 54—55.
2. Traian Mauna : Unele aspecte privind amplasarea CNE pe riurile interioare, nr. 8, p. 342—345.
3. Gheorghe Cârţină, Virgil Alexandrescu : Utilizarea modelelor statistice în optimizarea regimurilor de funcţionare ale sistemului electroenergetic, nr. 8, p. 346—350.

IV. Conducerea şi automatica sistemului energetic

1. Mihai Moga, Adrian Buta, Cornelia Ivaşcu, Liviu Milea : Determinarea experimentală a caracteristicilor statice de putere funcţie de tensiune ale consumatorilor complecşi, nr. 2, p. 56—61.
2. Ion Nicolau : Amplificator hidraulic de urmărire, nr. 4, p. 173—181.
3. Sebastian Ionescu, Marioara Itoafă : Analiza stabilităţii sistemelor energetice la mici perturbaţii pe seama valorilor proprii ale matricii de stare, nr. 5, p. 201—212.
4. Cristian Dănuţ Poiană, Alexandru Chitian : Efectele modificării frecvenţei reţelei asupra parametrilor nominali ai echipamentelor de filtrare — compensare, nr. 7 p. 297—300.
5. George Moraite, Marina Botgros : Aspecte ale comportării grupurilor generatoare bulb în regimuri tranzitorii, nr. 8, p. 351—355.
6. Adrian Păsculescu, Mihai Sănduleac : Transformări discrete recursive aplicate în energetică, nr. 9, p. 385—389.
7. Monica Ungureanu, Gheorghe Manea : Principii de compensare a puterii reactive în SEN. Aspecte privind necesarul de mijloace de compensare a puterii reactive în zona Moldova, nr. 10, p. 461—463.
8. Sebastian Ionescu, Veronica Tetelbaum, Octavian Gheorghe, Bogdan Minteanschi : Analiza regimurilor tranzitorii ale motoarelor asincrone funcţionînd conectate în sistemele electroenergetice complexe, nr. 12, p. 544—551.

V. Centrale termoelectrice

1. Mircea Cârdu : Dezvoltarea fabricaţiei de turbine cu abur pentru recuperarea resurselor energetice refolosibile din industrie, nr. 1, p. 18—21.
2. Mircea Ciobanu, Persida Iancovici, Manfred Stein : Analiza din punctul de vedere al fiabilităţii — mijloc eficient pentru stabilirea priorităţilor în măsurile de creştere a siguranţei în funcţionare a instalaţiilor energetice, nr. 5, p. 213—216.
3. George Chercea, Crăiţa Mangu : Interdependenţa dintre caracteristicile cărbunilor, procesul de uscare şi măcinare şi stabilitatea arderii, nr. 7, p. 301—306.

4. Anton Roşu, Constantin Bilegan, Ecaterina Bălănescu, Gheorghe Gheorghe, Vasile Manea : Preîncălzitor de aer cu tuburi termice pentru recuperararea căldurii reziduale a gazelor de ardere evacuate la un cazan CR — 9. Rezultate experimentale, nr. 7, p. 307—311.
5. Mihai Pop, Sorin Pressel : Unele consideraţii asupra valorificării complexe a şisturilor bituminoase din zona Anina, nr. 8, p. 356—360.
6. Maria Nicolescu, Lazăr Lupescu, Nicolae Nicolescu : Estimarea siguranţei în funcţionare a coturilor conductelor din centralele termoelectrice, nr. 9, p. 390—396.
7. George Chercea : Calculul aparatelor de schimb de căldură cu trei fluide, nr. 12, p. 552—554.
8. Bogdan Popescu-Vifor : Modelarea numerică cu elemente finite a cimpurilor de tensiune termice şi mecanice axial-simetrice, nr. 12, p. 555—563.

VI. Centrale hidroelectrice

1. Romulus Sfichi, Dorin Boşcoianu, Ovidiu Lungu : Echiparea MHC şi CHEMP utilizînd pompe centrifugale în regim de turbină, nr. 7, p. 312—316.
2. Maria Nicolescu, Lazăr Lupescu, Nicolae Nicolescu : Consideraţii asupra conductelor privind depunerile aderente din apa de circulaţie, nr. 7, p. 316—320.
3. Mihai Toma : Probleme referitoare la exploatarea eficientă a microhidroagregatelor echipate cu turbine Francis orizontale, nr. 11, p. 486—488.
4. Romulus Vatau, Mihai Stoican, Paul Dinescu : Aspecte privind verificarea „în situ" a performanţelor microhidroagregatelor dotate cu turbine tip EOS, nr. 11, p. 488—490.

VII. Centrale nuclearoelectrice

1. Paul Emil Raşcu : Unele probleme energetice principale ale construcţiei centralelor nuclearoelectrice. Schemele electrice de înaltă tensiune utilizate. Situaţia pe plan mondial, nr. 1, p. 22—32.
2. Paul Emil Raşcu : Echipamentele electrice principale şi amplasamentele staţiilor electrice de înaltă tensiune ale centralelor nuclearoelectrice. Situaţia pe plan mondial, nr. 2, p. 62—72.
3. Adrian Rusu : Fuziunea nucleară rece, nr. 6, p. 258—261.
4. Mihai Pop, Alexandru Neaţu, Sebastian Ionescu : Centrul de pregătire CANDU pentru România. Sinteza raportului româno-canadian privind recrutarea, pregătirea şi calificarea personalului de exploatare din centralele nuclearoelectrice, nr. 7, p. 321—323.
5. Adrian Rusu, Anca Rusu : Prezentarea generală a unei centrale nuclearoelectrice de tip PHWR—CANDU, cu referiri speciale la CANDU 700, CNE Cernavodă, nr. 8, p. 361—369.
6. Traian Mauna, Dorin Chirica, Ghiţă Sorin : Soluţie alternativă pentru transportul pieselor grele şi agabaritice din CNE, nr. 10, p. 464—467.
7. Gabriel Romaşcu, Irina Nechitcaia, Mioara Guţu : Planificarea activităţilor de intervenţie în caz de avarie la centralele nuclearoelectrice, nr. 11, p. 491—494.

VIII. Reţele electrice

1. Nicolae Gavrilaş, Mircea Guşă, Adrian Baraboi : Asupra unor mijloace moderne de protecţie a instalaţiilor electroenergetice împotriva supratensiunilor, nr. 2, p. 73—81.
2. Ilie Popescu, Dumitru Bărbulescu, Nicolae Sufleţel, Iustina Zaharia : Asupra determinării puterii şi energiei active disipată în reţele electrice neramificate care alimentează receptoare neliniare, nr. 2, p. 81—84.
3. Gleb Drăgan, Marilena Ungureanu, Gheorghe Măgureanu : Consumurile specifice de putere activă şi de energie la liniile de 400 kV datorate descărcării corona, nr. 2, p. 85—89.
4. Sorin Munteanu, Gleb Drăgan, Ioan Lungu, Liviu Drăgan : Calculul supratensiunilor atmosferice la căderea trăsnetului pe conductorul de protecţie cu considerarea descărcării corona de impuls, nr. 5, p. 217—220.
5. Mircea Guşă, Nicolae Gavrilaş : Perfecţionarea construcţiei regulatorului automat pentru bobine de stingere, nr. 5, p. 221—225.
6. Aric A. Aric, Lucia Petcu : Utilizarea metodei matricelor de transfer la studiul vibraţiilor liniilor electrice aeriene, nr. 6, p. 262—267.
7. Gheorghe Creţu, Magdalena Bogdan, Marian Voicu : Măsurători efectuate în staţiile electrice de 110 kV (Chitila, Ploieşti Nord şi Valea Largă) ce alimentează calea ferată electrificată în vederea evidenţierii influenţei regimului deformant şi nesimetric, nr. 6, p. 268—274.
8. Fănică Vatră : Aspecte privind funcţionarea descărcătoarelor în prezenţa supratensiunilor de comutaţie şi temporare. Posibilităţi de reducere a nivelurilor de izolaţie ale echipamentelor electrice prin utilizarea descărcătoarelor moderne pe bază de oxizi metalici, nr. 7, p. 324—330.
9. Eugen Neniţă, Ovidiu Apostol, Gheorghe Toader : Metodă, algoritm şi programe pentru proiectarea asistată a pozării cablurilor dintr-o termocentrală, nr. 8, p. 370—373.
10. Dumitru Ivas : Consideraţii privind fiabilitatea sistemelor de producţie (deservire), nr. 9, p. 397—399.
11. Adrian Buta, Cornelia Ivaşcu, Liviu Milea : Efectele regimului deformant asupra instalaţiilor şi aparatelor electrice din staţiile de m.t./î.t. ale Sistemului Energetic Naţional, nr. 9, p. 400—404.
12. Traian — G. Ionescu, Şerban Coculescu, Marina Neagoe, Eugeniu Pavel : Regimul nesimetric generator de consumuri proprii tehnologice suplimentare în reţelele electrice, nr. 9, p. 404—411.
13. Hermina Albert, Manfred Stein, Persida Iancovici : Calculul siguranţei în funcţionare a instalaţiilor energetice. Evoluţie, stadiu actual, perspective, nr. 9, p. 412—416.
14. Gabriel Chiriţă, Boris Boreschievici : Calculul luminanţei suprafeţelor reflectante interioare prin metoda coeficientului de luminanţă, nr. 11, p. 495—504.

X. Surse şi tehnologii noi

1. Julieta Florea, Vasile Nitu : Energiile regenerabile. Situaţia actuală şi tendinţe de viitor, nr. 1, p. 12—17.
2. Dumitru Teaci, Nicolae Hurduc, Cornelia Scutaru, Mihai Ibănescu : Probleme actuale şi de perspectivă ale utilizării surselor de energie fosilă şi reînnoibilă în agricultura României, nr. 2, p. 90—92.
3. Valeria Petrescu, Adina Cotârţă, Teodor Vişan : Metodă calorimetrică de determinare a energiei stocată în sisteme topite (în domeniul de temperatură 373 K — 1073 K), nr. 4, p. 182—184.
4. Ion Berindan, Tiberiu Molnar, Reka Kovacs-Dobolyi : Consideraţii privind gazeificarea lemnului de răchită în vederea obţinerii gazului de sinteză, nr. 5, p. 226—229.
5. Gheorghe Voicu, Mihai Lauric, Mauriciu Tudor, Cristian Ţânţăreanu : Concepţia simplificat-integrată a unui aerogenerator de mică putere, nr. 10, p. 468—472.
6. Anton Gârbacea : Montarea aeroagregatelor electrice de 300 kW pe muntele Semenic. Aspecte tehnologice principale privind lucrările de construcţii-montaj, nr. 11, p. 505—513.
7. Alexandru Florescu, Cristina Pavelescu, Costel Cîrstea, Alexandra Sîrbu : Rezultate şi concluzii privind valorificarea căldurii apelor geotermale de potenţial termic redus din zona Banat-Herculane, nr. 11, p. 514—518.
8. Emilian Zaides, Adrian Radu, Liana Olar : Instalaţie aerogeneratoare autonomă de 7 kW, nr. 11, p. 518—522.

XI. Tehnologii chimice în energetică. Poluare

XII. Organizarea producţiei şi a muncii

1. Fănică Vatră, Andrei Cristovici : Efectele acţiunii cîmpului electric generat de instalaţiile electrice de înaltă şi foarte înaltă tensiune asupra corpului omenesc şi concluzii pe plan mondial privind această problemă, nr. 6, p. 275—279.

XIII. Terminologia energetică

1. Ioan I. Ioniță : O problemă de semantică : putere calorifică sau căldură de ardere? nr. 8, p. 374—375.

IV. Istoria electrificării

1. Opinii ale specialiștilor cu ocazia aniversării a 35 de ani de apariție a revistei Energetica, nr. 1, p. 4—7.
2. Paul Cartianu : Oameni și evenimente în cei 35 de ani, nr. 1, p. 39—45.
3. Ovidiu Țuțuianu : Termocentrala București — Grozăvești a depășit 75 de ani de existență, nr. 5, p. 230—233.
4. Paul Cartianu : Europa în anul 1986 din punctul de vedere al problemelor energiei electrice, nr. 9, p. 417—420.

XVI. Masă rotundă

1. Colocviu și masă rotundă Săvinești. Introducerea acționărilor cu turație reglabilă pentru pompe, ventilatoare, compresoare — cale de economisire a energiei electrice, nr. 3, p. 97—98.

XVI. Noutăți

XVI. 1. Cronică

1. Emil Luca, George Manolescu : Reuniunea Comitetului pentru Energie Electrică din cadrul Comisiei Economice a ONU pentru Europa, nr. 5, p. 235—236.
2. Nicolae Dănilă : A XIV — a Consfătuire a termoenergeticienilor, Brașov, 10—12 decembrie 1987, nr. 6, p. 280—282.
3. Constantin Popescu : A IV-a consfătuire cu tema „Valorificarea resurselor energetice refolosibile, a surselor neconvenționale și a potențialului microhidroenergetic, nr. 7, p. 331.
4. Romulus Sfichi : A VII-a ediție a Consfătuirii energeticienilor suceveni cu tema „Economisirea și utilizarea rațională a combustibililor și energiei. Valorificarea surselor energetice locale, nr. 8, p. 379.
5. Persida Iancovici : Al IX-lea simpozion „Siguranța în funcționare a instalațiilor energetice", Iași, 1987, nr. 9, p. 426—427.
6. Vasile Rugină : A XII-a Conferință Internațională de Energetică Industrială — Praga, 1987, nr. 9, p. 427—428.
7. Emanoil Băbulescu : Apelul Comitetului de Planificare și al participanților la cel de al XI-lea Forum Științific Mondial de Energetică către opinia publică mondială, Moscova, 6 octombrie 1987, nr. 12, p. 564.
8. Maria Morariu : A VII-a Conferință Mondială pentru Energia Hidrogenului — „Hidrogenul astăzi", nr. 12, p. 565—566.

XVI. 2. Recenzii

1. Romulus Sfichi : V. I. Nitu „Fiabilitate, disponibilitate, mentenanță în energetică", nr. 2, p. 53.
2. Constantin Rucăreanu : Seria ENERG nr. 1, 2 și 3, nr. 2, p. 61.
3. Gheorghe Vâlcereanu : Wölf Hafele „Energia — problemă globală. O analiză de sistem" nr. 5, p. 237.
4. Mihai Nistor : Albert, H. și Florea, I. „Alimentarea cu energie electrică a întreprinderilor industriale" nr. 9, p. 416.
5. Romulus Sfichi : Antoniu, I., Mihăileanu, C. „Constantin I. Budeanu", nr. 10, p. 442.
6. Romulus Sfichi : Ovidiu Țuțuianu „Stocarea energiei", nr. 10, p. 476.
7. Romulus Sfichi : Miheț, I., Furtunescu, H. „Siguranța în exploatare a instalațiilor energetice", nr. 10, p. 476—478.

XVI. 3. Invenții — Inovații : nr. 4, p. 187—189. nr. 6, p. 282; nr. 8, p. 376; nr. 9, p. 421—426; nr. 11, p. 522.

XVI. 4. Din energetica mondială : nr. 1, p. 21, 32, 38; nr. 3, p. 141; nr. 4, p. 184—186, 163, 172, 181; nr. 5, p. 230—233, nr. 6, p. 279, 283; nr. 7, p. 323 332; nr. 8, p. 369, 380; nr. 9, p. 429; 467, nr. 10, p. 430, 473 — 475; nr. 12, p. 563, 566, 567.

XVI. 5. De la Comitetul Național Român al CEI : nr. 9, p. 396.

XVI. 6. De personis : nr. 6, p. 285; nr. 7, p. 333: nr. 11, p. 523—525.

Index alfabetic al autorilor articolelor apărute în revista Energetica în anul 1988

Albert Hermina, nr. 9, p. 412 (VIII, 13)
Alexandrescu Virgil, nr. 8, p. 346 (III, 3)
Apostol Ovidiu, nr. 8, p. 370 (VIII, 9)
Arie A. Arie, nr. 6, p. 262 (VIII, 6)

Baraboi Adrian, nr. 2, p. 73 (VIII, 1)
Băcanu Radu, nr. 4, p. 184 (XVI, 4)
Bălănescu Ecaterina, nr. 7, p. 307 (V, 4)
Bănică Ion, nr. 4, p. 184 (XVI. 4)
Bărbulescu Dumitru, nr. 2, p. 81 (VIII, 2)
Berindan Ion, nr. 5, p. 226 (X, 4)
Bilegan Constantin, nr. 7, p. 307 (V, 4)
Bogdan Magdalena, nr. 6, p. 268 (VIII, 7)
Boreschievici Boris, nr. 11, p. 495 (VIII, 14)
Boșcoianu Dorin, nr. 7, p. 312 (VI, 1)
Botgros Marina, nr. 8, p. 351 (IV, 5)
Brătianu Constantin, nr. 10, p. 455 (II, 17)
Buta Adrian, nr. 2, p. 56 (IV, 1), nr. 9, p. 400 (VIII, 11)

Cartianu Paul, nr. 1, p. 39 (XIV, 2), nr. 9, p. 417 (XIV. 4)
Cărășel Vasile, nr. 3, p. 136 (II, 4)
Cârdu Mircea, nr. 1, p. 18 (V, 1)
Cârțină Gheorghe, nr. 8, p. 346 (III, 3)
Chercea George, nr. 7, p. 301 (V, 3) , nr. 12, p. 552 (V, 7)
Chirica Dorin, nr. 10, p. 464 (VII, 6)
Chiriță Gabriel, nr. 11, p. 495 (VIII, 14)
Chitian Alexandru, nr. 7, p. 297 (IV, 4)
Ciobanu Mircea, nr. 5, p. 213 (V, 2)
Cîrstea Costel, nr. 11, p. 514 (X, 7)
Coculescu Șerban, nr. 9, p. 404 (VIII, 12)
Constantinescu Jean, nr. 4, p. 164 (II, 9)
Cotârță Adina, nr. 4, p. 182 (X, 4)
Crețu Gheorghe, nr. 6, p. 268 (VIII, 7)
Cristovici Andrei, nr. 6, p. 275 (XII, 1)
Cristea Norel Constantin, nr. 5, p. 193 (II, 16)

Dan Ion, nr. 3, p. 126 (II, 3)
Dănilă Nicolae, nr. 6, p. 280 (XVI, 1.2)
Diaconu Ștefan, nr. 8, p. 337 (I, 7)
Dinescu Paul, nr. 11, p. 488 (VI, 4)
Dobrinescu Dumitru, nr. 10, p. 448 (II, 16)
Drăgan Gleb, nr. 2, p. 85 (VIII, 3), nr. 5, p. 217 (VIII, 4)
Drăgan Liviu, nr. 5, p. 217 (VIII, 4)
Drug Călin, nr. 12, p. 537 (II, 19)

Felea Ioan, nr. 6, p. 250 (II, 14)
Fetcu Lucia, nr. 6, p. 262 (VIII, 6)
Florea Julieta, nr. 1, p. 12 (X, 1)
Florescu Alexandru, nr. 11, p. 514 (X, 7)

Galfi Attila, nr. 5, p. 196 (II, 12)
Gavrilaș Nicolae, nr. 2, p. 73 (VIII, 1), nr. 5, p. 221 (VIII, 5)
Gârbacea Anton, nr. 10, p. 443 (II, 15), nr. 11, p. 505 (X, 6)

Georgescu Ion, nr. 3, p. 99 (II, 1)
Gheorghe Octavian, nr. 12, p. 544 (IV, 8)
Gheorghe Gheorghe, nr. 7, p. 307 (V, 4)
Gheorghiu Cristian, nr. 3, p. 126 (II, 3)
Ghiță Sorin, nr. 10, p. 464 (VII, 6)
Gușă Mircea, nr. 2, p. 73 (VIII, 1), nr. 5, p. 221 (VIII, 5)
Guțu Moara, nr. 11, p. 491 (VII, 7)

Horvath Alexandru, nr. 5, p. 196 (II, 12)
Hurduc Nicolae, nr. 2, p. 90 (X, 2)

Iancovici Persida, nr. 2, p. 54 (III, 1) nr. 5, p. 213 (V, 2) nr. 9, p. 412 (VIII, 13), nr. 9, p. 426 (XVI, 1.5)
Ibănescu Mihai, nr. 2, p. 90 (X, 2)
Ionel Ioana, nr. 11, p. 481 (II. 18), nr. 12, p. 537 (II, 19)
Ionescu G. Traian, nr. 9, p. 404 (VIII, 12)
Ionescu Sebastian, nr. 5, p. 201 (IV, 3), nr. 7, p. 321 (VII, 4), nr. 12, p. 544 (IV, 8)
Ioniță I. Ioan, nr. 8, p. 374 (XIII, 1)
Irre Petru, nr. 12, p. 537 (II, 19)
Itoafă Marioara, nr. 5, p. 201 (IV, 3)
Ivas Dumitru, nr. 9, p. 397 (VIII, 10)
Ivașcu Cornelia, nr. 2, p. 56 (IV, 1), nr. 9, p. 400 (VIII, 11)

Kovacs-Dobolyi Reka, nr. 5, p. 226 (X, 4)

Lauric Mihai, nr. 10, p. 468 (X, 5)
Lefter Lucian, nr. 7, p. 289 (I, 5)
Losonczi Lajos, nr. 5, p. 196 (II, 12)
Luca Emil, nr. 5, p. 235 (XVI, 1.1.)
Luca Gheorghe, nr. 7, p. 289 (I, 5)
Lungu Ioan, nr. 5, p. 217 (VIII, 4)
Lungu Mircea, nr. 3, p. 110 (II, 2)
Lungu Ovidiu, nr. 7, p. 312 (VI, 1)
Lup Liviu, nr. 4, p. 176 (I, 4)
Lupescu Lazăr, nr. 7, p. 316 (VI, 2), nr. 9, p. 390 (V, 6)

Manea Gheorghe, nr. 10, p. 461 (IV, 7)
Manea Vasile, nr. 7, p. 307 (V, 4)
Mangu Crăița, nr. 7, p. 301 (V, 3)
Mauna Traian, nr. 8, p. 342 (III, 2), nr. 10, p. 464 (VII, 6)
Măgureanu Gheorghe, nr. 2, p. 85 (VIII, 3)
Micu Dan, nr. 4, p. 145 (II, 5)
Milea Liviu, nr. 2, p. 56 (IV, 1), nr. 9, p. 400 (VIII, 11)
Mihăilescu Florentina, nr. 2, p. 49 (I, 3)
Minteanschi Bogdan, nr. 12, p. 544 (IV, 8)
Moga Mihai, nr. 2, p. 56 (IV, 1)
Molnar Tiberiu, nr. 5, p. 226 (X, 4)
Manolescu George, nr. 5, p. 235 (XVI.1.1.), nr. 12, p. 529 (I, 9)
Moraite George, nr. 8, p. 351 (IV, 5)
Morariu Maria, nr. 12, p. 565 (XVI. 1.8.)
Munteanu Sorin, nr. 5, p. 217 (VIII, 4)

Neaga Constantin, nr. 4, p. 167 (II, 10)
Neagoe Marina, nr. 9, p. 404 (VIII, 12)
Neațu Alexandru, nr. 7, p. 321 (VII, 4)
Nechitoaia Irina, nr. 11, p.491 (VII, 7)
Neniță Eugen, nr. 8, p. 370 (VIII, 9)
Niac Gavril, nr. 10, p. 433 (I, 8)
Nicolau Ion, nr. 4, p. 173 (IV, 2)
Nicolescu Nicolae, nr. 7, p. 316 (VI, 2), nr. 9, p. 390 (V, 6)
Nicolescu Maria, nr. 7, p. 316 (VI, 2), nr. 9, p. 390 (V, 6)
Nistor Mihai, nr. 9, p. 416 (XVI.2.4),
Nitu I. Vasile, nr. 1, p. 12 (X, 1), nr. 1, p. 33 (I, 2)

Ohlgiesser Dan, nr. 5, p. 193 (II, 11)
Olar Liana, nr. 11, p. 518 (X, 8)
Oprișa Paul, nr. 12, p. 537 (II, 19)
Oprișiu Nicolae, nr. 4, p. 153 (II, 7)

Patakfalvi Laszlo, nr. 5, p. 196 (II, 12)
Pavel Eugeniu, nr. 2, p. 49 (I, 3), nr. 6, p. 241 (II, 13), nr. 9, p. 404 (VIII, 12)
Pavelescu Cristina, nr. 11, p. 514 (X, 7)
Păsculescu Adrian, nr. 9, p. 385 (IV, 6)
Pătrașcu Cornel, nr. 10, p. 448 (II, 16)
Petrescu Ana Maria, nr. 12, p. 529(I, 9)
Petrescu Valeria, nr. 4, p. 182 (X, 3)
Poiană Cristian Dănuț, nr. 7, p. 297 (IV, 4)
Pop Ioan, nr. 10, p. 433 (I, 8)
Pop Mihai, nr. 7, p. 321 (VII, 4), nr. 8, p. 356 (V, 5)
Popescu-Vifor Bogdan, nr. 12, p. 555 (V, 8)
Popescu Constantin, nr. 7, p. 331 (XVI. 1.3)
Popescu Ilie, nr. 2, p. 81 (VIII, 2)
Poslănescu Anton, nr. 5, p. 193 (II, 11)
Predescu Călin, nr. 3, p. 136 (II, 4)

Radu Adrian, nr. 11, p. 518 (X, 8)
Radu Lucian, nr. 4, p. 148 (II, 6)
Rașcu Paul Emil, nr. 1, p. 22 (VII, 1), nr. 2, p. 62 (VII, 2)
Rădulescu Mircea, nr. 4, p. 184 (XVI, 4)
Romașcu Gabriel, nr. 11, p. 491 (VII, 7)
Roșca Lucia, nr. 1, p. 8 (I, 1)
Roșu Anton, nr. 7, p. 307 (V, 4)
Rotaru Cornel, nr. 10, p. 455 (II, 17)
Rucăreanu Costin, nr. 2, p. 61 (XVI. 2.2.)
Rugină Vasile, nr. 9, p. 427 (XVI.1.6.)
Rusu Adrian, nr. 6, p. 258, (VII, 3), nr. 8, p. 361 (VII, 5)
Rusu Anca, nr. 8, p. 361 (VII, 5)

Sănduleac Mihai, nr. 9, p. 385 (IV, 6)
Scutaru Cornelia, nr. 2, p. 90 (X, 2)
Sfichi Romulus, nr. 2, p. 53 (XVI.2.1.), nr. 7, p. 312 (VI, 1), nr. 8, p. 379 (XVI. 1.4.), nr. 10, p. 442 (XVI. 2.5.), p. 476 (XVI. 2.6.; XVI. 2.7.)
Sîrbu Alexandra, nr. 11, p. 514 (X, 7)
Somoghi Vasile, nr. 10, p. 448 (II, 16)
Stein Manfred, nr. 2, p. 49 (I, 3), nr. 5, p. 213 (V, 2), nr. 8, p. 337 (I, 7), nr. 9, p. 412 (VIII, 13)
Stăiculescu Ștefan, nr. 3, p. 110 (II, 2)
Stoican Mihai, nr. 11, p. 488 (VI, 4)
Suceveanu Ioan Désiré, nr. 4, p. 156 (II, 8)
Suflețel Nicolae, nr. 2, p. 81 (VIII, 2)

Șerbu Viorica, nr. 3, p. 126 (II, 3)

Teaci Dumitru, nr. 2, p. 90 (X, 2)
Tetelbaum Veronica, nr. 12, p. 544 (IV, 8)
Toader Gheorghe, nr. 8, p. 370 (VIII, 9)
Toma Mihai, nr. 11, p. 486 (VI, 6)
Tomozei Dan, nr. 3, p. 126 (II, 3)
Tudor Mauriciu, nr. 10, p. 468 (X, 5)

Țânțăreanu Cristian, nr. 10, p. 468 (X, 5)
Țiucra Radu, nr. 3, p. 110 (II, 2)
Țuțuianu Ovidiu, nr. 5, p. 230 (XIV, 3), nr. 7, p. 293 (I, 6)

Ungureanu Cornel, nr. 11, p. 481 (II, 18), nr. 12, p. 537 (II,19)
Ungureanu Monica, nr. 10, p. 461 (IV, 7)
Ungureanu Marilena, nr. 2, p. 85 (VIII, 3)

Vatau Romulus, nr. 11, p. 488 (VI, 4)
Vatră Fănică, nr. 6, p. 275 (XII, 1)
Vâlcereanu Anca, nr. 8, p. 337 (I, 7)
Vâlcereanu Gheorghe, nr. 5, p. 237 (XVI. 2.3.), nr. 12, p. 529 (I, 9)
Vișan Teodor, nr. 4, p. 182 (X, 3)
Vlădescu Anton, nr. 12, p. 529 (I, 9)
Voicu Gheorghe, nr. 10, p. 468 (X, 5)
Voicu Marian, nr. 6, p. 268 (VIII, 7)
Voronca Mihai Marius, nr. 10, p. 455 (II, 17)

Weinrich Günther, nr. 3, p. 110 (II, 2)

Zaharia Iustina, nr. 2, p. 81 (VIII, 2)
Zaides Emilian, nr. 11, p .518 (X, 8)
Zamfirescu Constantin, nr. 3, p. 126 (II, 3)

СОДЕРЖАНИЕ

НАПРАВЛЕНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ

ДЖОРДЖЕ МАНОЛЕСКУ, АНА МАРИЯ ПЕТРЕСКУ, АНТОН ВЛЭДЕСКУ, ГЕОРГЕ ВЫЛЧЕРЯНУ: Учет надежности в исследованиях по планированию электроэнергетической системы 529—536

ЭНЕРГЕТИКА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

КОРНЕЛ УНГУРЯНУ, ВЕРОНИКА ТЕТЕЛЬБАУМ, ОКТАВИАН ГЕОРГЕ, БОГДАН МИНТЯНСКИ: Анализ переходных режимов асинхронных двигателей, работающих соединенными в электроэнергетических системах со сложной структурой 537—543

УПРАВЛЕНИИ И АВТОМАТИКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

СЕБАСТИАН ИОНЕСКУ, ВЕРОНИКА ТЕТЕЛЬБАУМ, ОКТАВИАН ГЕОРГЕ, БОГДАН МИНТЯНСКИИ: Анализ переходных режимов асинхронных двигателей, работающих соединенными со сложными электроэнергетическими системами 544—551

ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

ДЖОРДЖЕ КЕРЧА: Расчет теплообменных аппаратов с тремя теплоносителяеш 552—554

БОГДАН ПОПЕСКУ-ВИФОР: Цифровое моделирование с помощью конечных элементов симметрично-осевых полей термических и механических напряжений 555—563

НОВОСТИ

ХРОНИКА 564—566

ИЗ МИРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ 563, 566, 567

ОБЗОР СОДЕРЖАНИЯ ЖУРНАЛА „ЭНЕРГЕТИКА" ЗА 1988 г. 570—572

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ СТАТЕЙ ОПУБЛИКОВАННЫХ В ЖУРНАЛЕ „ЭНЕРГЕТИКА", т. 36 (1988) 572—573

INHALT

ENTWICKLUNGSRICHTUNGEN IN DER ENERGIEWIRTSCHAFT

GEORGE MANOLESCU, ANA MARIA PETRESCU, ANTON VLĂDESCU, GHEORGHE VÂLCE EANU, Berücksichtigung der Sicherheit in den Planungsstudien für das Verbundnetz 529—536

DIE ENERGIEWIRTSCHAFT IN INDUSTRIEBETRIEBEN

CORNEL UNGUREANU, CĂLIN DRUG, PAUL OPRIȘA, PETRU IRRE, IOANA IONEL: Leistungen und Perspektiven in Fragen der nachträglichen Wärmebehandlung der überdimensionalen Bestandteilen 537—543

DIE LEITUNG UND REGELUNGSTECHNIK DER ENERGIESYSTEME

SEBASTIAN IONESCU, VERONICA TETELBAUM OCTAVIAN GHEORGHE, BOGDAN MINTEANSCHI: Die Analyse der transitorischen Regimen der in komplexen Verbundnetzen betriebenen Asynchronmotoren 544—551

WÄRMEKRAFTWERKE

GEORGE CHERCEA: Die Berechnung der Wärmeaustauschgeräte mit drei Fluiden 552—554

BOGDAN POPESCU-VIFOR: Die numerische Modellierung mit finiten Elementen der axialsymmetrischen thermischen und mechanischen Spannungsfelder (mit einer Kurzfassung in Englisch) 555—563

NEUIGKEITEN

CHRONIK 564—566

DIE ENERGIEWIRTSCHAFT WELTWEIT 563, 566, 567

ALLGEMEINES INHALTSVERZEICHNIS DER ZEITSCHRIFT „ENERGETICA" FÜR DAS JAHR 1988 570—572

ALPHABETISCHES VERZEICHNIS DER VERFASSER DER IN DER ZEITSCHRIFT „ENERGETICA BAND 36 (1988) HERAUSGEGEBENEN BERICHTE 572—573

SOMMAIRE

ORIENTATIONS DES POLITIQUES ÉNERGÉTIQUES

GEORGE MANOLESCU, ANA MARIA PETRESCU, ANTON VLĂDESCU, GHEORGHE VÂLCEREANU : Prise en compte de la sûreté dans les etudes de planification des réseaux électriques 529—536

L'ÉNERGIE DANS L'ENTREPRISE

CORNEL UNGUREANU, CĂLIN DRUG, PAUL OPRIŞA, PETRU IRRE, IOANA IONEL : Réalisations et perspectives dans le traitement thermique post soudage du matériel encombrant 537—543

CONDUITE ET AUTOMATION DES RÉSEAUX D'ÉNERGIE

SEBASTIAN IONESCU, VERONICA TETELBAUM, OCTAVIAN GHEORGHE, BOGDAN MINTEANSCHI : L'analyse des régimes transitoires des moteurs asynchrones connectés au réseau complexe 544—551

CENTRALES THERMIQUES

GEORGE CHERCEA : Le calcul des échangeurs de chaleur à trois fluides 552—554

BOGDAN POPESCU-VIFOR : Simulation numérique à éléments finis des champs de tension thermiques et mécaniques à symétrie axiale 555—563

NOUVEAUTÉS

CHRONIQUE 564—566

L'ÉNERGIE DANS LE MONDE 563, 566, 567

LE SOMMAIRE GÉNÉRAL DE LA REVUE ENERGETICA EN 1988 570—572

L'INDEX ALPHABÉTIQUE DES ARTICLES PUBLIÉES DANS LA REVUE ENERGETICA VOL. 36 (1988) 573—575

CONTENTS

TRENDS IN ENERGY POLICY

GEORGE MANOLESCU, ANA MARIA PETRESCU, ANTON VLĂDESCU, GHEORGHE VÂLCEREANU : Considering Safety in Power System Planning Studies 529—536

ENERGY IN THE ENTERPRISES

CORNEL UNGUREANU, CĂLIN DRUG, PAUL OPRIŞA, PETRU IRRE, IOANA IONEL : Achievements and Future Trends of Post-Welding Thermal Treatment of Overdimensioned Parts 537—543

ENERGY SYSTEMS CONTROL AND AUTOMATION

SEBASTIAN IONESCU, VERONICA TETELBAUM, OCTAVIAN GHEORGHE, BOGDAN MINTEANSCHI : Transients Analysis of Asynchronous Motors Connected to Large Power Grids 544—551

THERMAL POWER PLANTS

GEORGE CHERCEA : Calculation of Heat Exchange Devices with Three Fluids 552—554

BOGDAN POPESCU-VIFOR : Finite Element Modelling of Axisymmetric Thermal and Mechanical Stresses (with a short presentation in Englisb) 555—563

NEWS

CHRONICS 564—566

ENERGY WORLDWIDE 563, 566, 567

GENERAL CONTENTS OF THE REVIEW "ENERGETICA" FOR THE YEAR 1988 570—572

ALPHABETICAL AUTHORS' INDEX OF PAPERS PUBLISHED IN THE REVIEW "ENERGETICA" VOL. 36 (1988) 572—573

COLEGIUL DE REDACȚIE

Președinte, redactor responsabil: **dr. ing. Eugeniu Pavel**

Redactori responsabili adjuncți: **dr. ing. Mihai G. M. Pop, dr. ing. Gheorghe Bălan, ing. Radu Opinearu**

Secretar de redacție: **dr. ing. Teodor Popa**

Resort economic: **ec. Pompiliu Silvășanu**

Orientări în energetică: **dr. ing. Mario Duma**

Energetica în unități economice: **ing. Ion Măiereanu, ing. Alexandru Floreseu**

Dezvoltarea sistemelor energetice: **dr. ing. Nicolae Armencoiu, dr. ing. George Manoleseu**

Conducerea și automatica SE: **dr. ing. Victor Romert, dr. ing. Jean Constantinescu**

Centrale termoelectrice: **conf. dr. ing. Costin Moțoiu, ing. Romeo Zbarcea**

Centrale hidroelectrice: **dr. ing. Gheorghe Luca**

Centrale nuclearoelectrice: **ing. Adrian Georgeseu, prof. dr. ing. Nicolae Dănilă, ing. Mircea Tarța**

Rețele electrice: **ing. Dinu Voinea, ing. Nicolae Georgian**
Alimentare cu căldură: **ing. Nicolae Nieulescu**

Surse și tehnologii noi: **ing. Constantin Popeseu**

Tehnologii chimice în energetică. Poluare: **dr. chim. Maria Maftei**

Organizarea producției și a muncii: **ing. Miron Popescu**

Istoria electrificării: **ing. Paul Cartianu**

Noutăți: **ing. Mihai Nistor, ing. Romulus Sfichi**

Terminologia energetică: **dr. ing. Iosif Cserveny**

Centre universitare și industriale:

București: **conf. dr. ing. Alexandru Selischi**

Iași: **prof. dr. ing. Alexandru Poeată**

Timișoara: **prof. dr. ing. Viorel Negru**

Cluj: **conf. dr. Silviu Darie**

Acest număr a fost realizat cu concursul următorilor secretari ai grupelor de specialitate:

— **ing. Florin Popovici** — Orientări în energetică
— **ing. Angela Perea** — Energetica în unități economice
— **ing. Anton Roșu** — Centrale termoelectrice
— **dr. ing. Marius Pomârleanu** — Conducerea și automatica sistemului energetic

Revista „ENERGETICA" este editată și administrată de Institutul de Cercetări și Modernizări Energetice prin Oficiul de Informare Documentară pentru Energetică.
Vasile Pleșca — șef OIDE, **Ana Maria Chivu** — redactor
Revista ENERGETICA — publicație lunară, reflectă preocupările spirituale și realizările materiale în domeniul energeticii. Funcționează în conformitate cu ROF aprobat cu Ordinul nr. 97/1987 și publicat în nr. 4/87.

Instituțiile pot achita abonamentele în contul de virament nr. 30.11.8.01.01 — BN R.S.R. Fil. Sector 3. Costul unui abonament: 144 lei anual; costul unei exemplar: 12 lei
Redacția și administrația: București 79619, Bd. Energeticienilor nr. 8, sect. 3
Telefon: 20.67.30, 21.46.30

Elaboratorii de lucrări propuse spre publicare sînt rugați să consulte „*Îndrumările pentru întocmirea și prezentarea lucrărilor propuse a fi publicate în revista Energetica*" și „*Ghidul pentru avizarea lucrărilor propuse a fi publicate în revista Energetica*" apărute în nr. 12/1986, precum și „*Planul tematic al revistei Energetica*" apărut în nr. 5/1987.

41 401

ANNOUNCEMENTS FOR READERS ABROAD

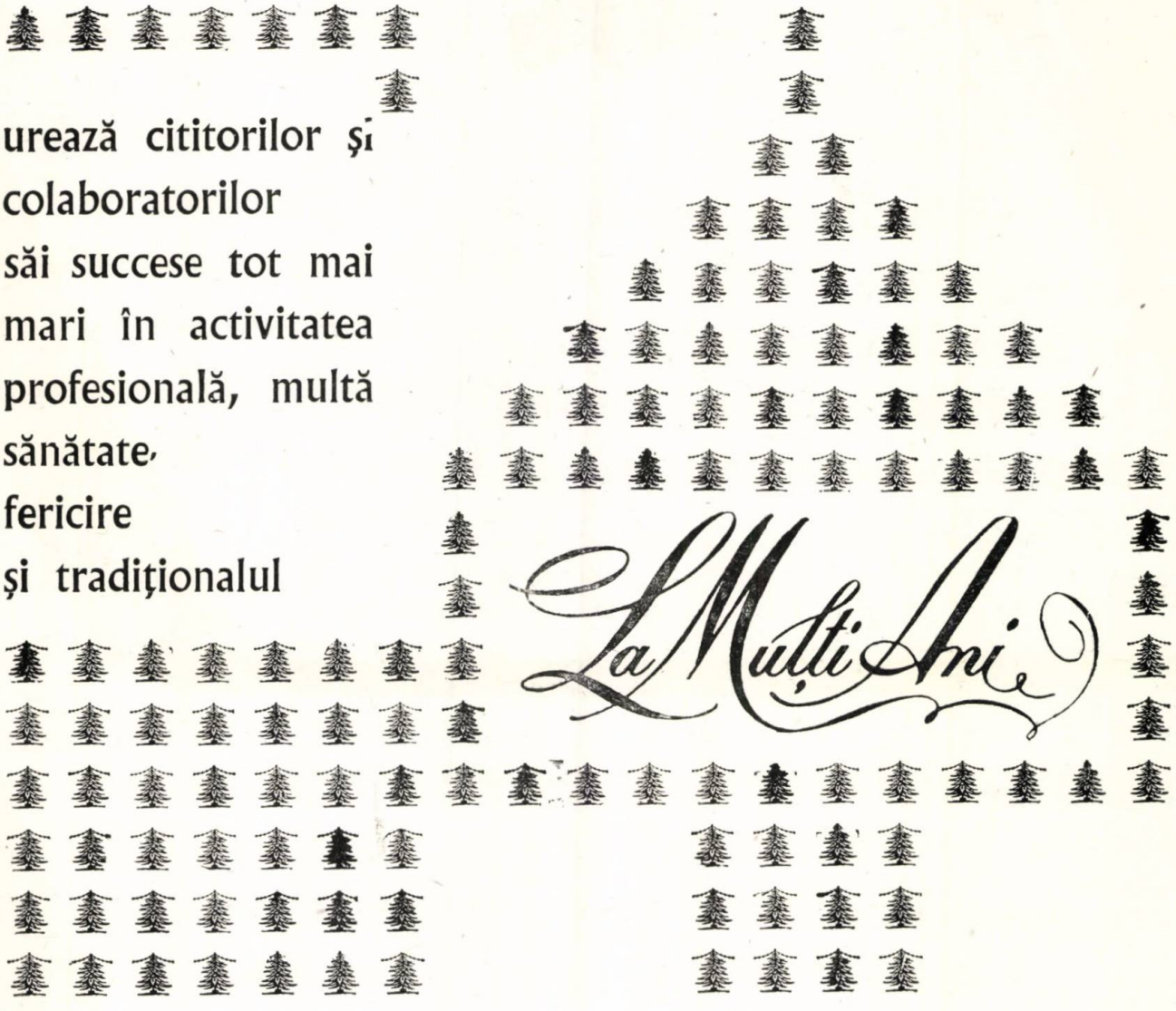
The review „Energetica" can send on request from publications abroad reports translated in one of the worldwide spoken languages
The review „Energetica" proposes a publication exchange with similar reviews and in relating fields
The review „Energetica" provides and publishes or introduces books on energy received at the editorial office. Reviews and presentations of books sent on this purpose to the editorial office can be published as well
The review „Energetica" publishes on request from authors abroad reports of other materials: technical and scientific nrws, inventions-innovations, information about technical and scientific symposia, etc. written in one of the worldwide spoken languages
Readers from abroad can suberibe through: ROMPRESFILATELIA — sectorul import-export, P.O. Box 12—201, telex 10376 prsfir, Calea Griviței nr. 64 66, București — România.

Tiparul: Întreprinderea Poligrafică „Informația", București
str. Brezoianu 23—25 c—2792

MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA KÖNYVTÁR INFORMÁCIÓS OSZTÁLYA

Cu prilejul Anului Nou 1989, colectivul redacției

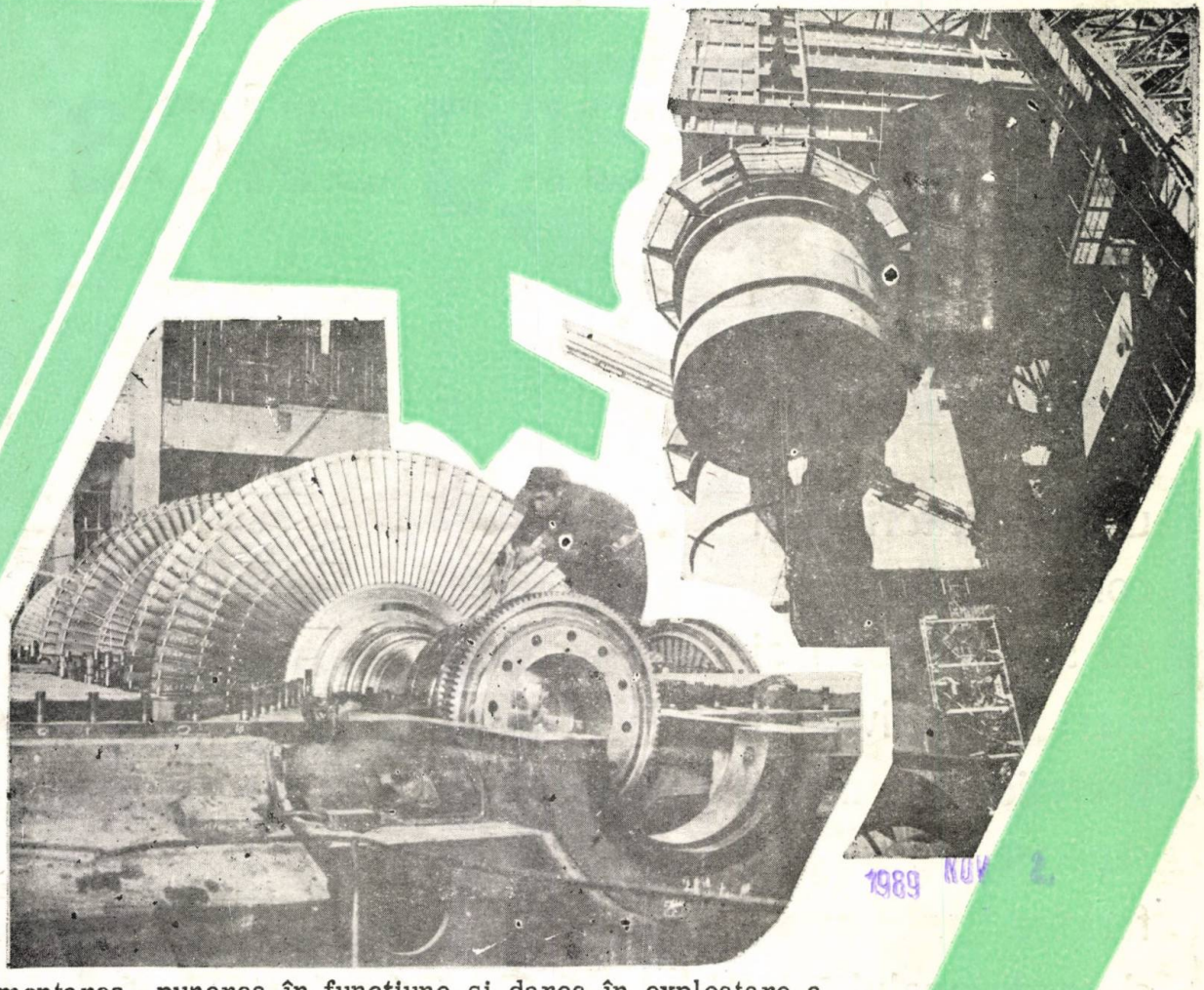
energetica



urează cititorilor și colaboratorilor săi succese tot mai mari în activitatea profesională, multă sănătate, fericire și tradiționalul

La Mulți Ani

T.A.G. ENERGOMONTAJ



1989 NOV 2

Execută montarea, punerea în funcţiune şi darea în exploatare a echipamentelor şi instalaţiilor energetice pentru centrale termoelectrice şi hidroelectrice

Echipamente şi instalaţii pentru centrale termoelectrice şi centrale electrice de termoficare
- cazane de abur de mare capacitate şi parametri înalţi de funcţionare
- turbine cu abur de puteri unitare pînă la 345 MW
- instalaţii de combustibil pentru cărbuni, păcură, gaze
- alte instalaţii termomecanice şi mecanice aferente centralelor termoelectrice.

Echipamente şi instalaţii pentru centrale hidroelectrice şi instalaţii hidrotehnice :
- turbine hidraulice de orice tip, pînă la puteri unitare de 176 MW, conducte forţate
- echipamente şi alte instalaţii pentru centrale hidro şi termoelectrice
- echipamente şi instalaţii pentru ecluze.

Echipamente şi instalaţii electrice pentru centrale termoelectrice şi hidroelectrice, staţii electrice şi instalaţii speciale :
- instalaţii de comutaţie primară pînă la tensiunea de 400 kV inclusiv
- instalaţii de servicii interne în centrale şi staţii electrice
- instalaţii de comutaţie secundară şi de automatizare.

Bucureşti, Calea Dorobanţi nr. 105, telefon 79 70 20, telex 1136...